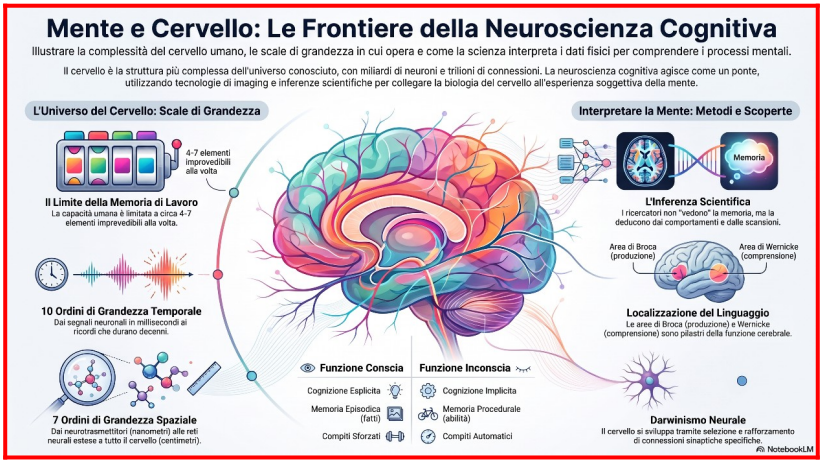
NEUROSCIENZE

Pasquale GALLO

Sempre caro mi fu quest'ermo colle,
E questa siepe, che da tanta parte
Dell'ultimo orizzonte il guardo esclude.
Ma sedendo e mirando, interminati
Spazi di là da quella, e sovrumani
Silenzi, e profondissima quiete
Io nel pensier mi fingo; ove per poco
Il cor non si spaura. E come il vento
Odo stormir tra queste piante, io quello
Infinito silenzio a questa voce
Vo comparando: e mi sovvien l'eterno,
E le morte stagioni, e la presente
E viva, e il suon di lei. Così tra questa
Immensità s'annega il pensier mio:
E il naufragar m'è dolce in questo mare.



Premessa

La distinzione tra mente e cervello è il tema centrale delle neuroscienze cognitive e sebbene siano inestricabilmente legate, esse vengono descritte attraverso caratteristiche e linguaggi differenti:

Il cervello è l'oggetto fisico e biologico, la struttura più complessa dell'universo conosciuto formato da decine di miliardi di neuroni e trilioni di punti di trasmissione (sinapsi). Il cervello opera secondo le leggi della fisica e della chimica. Può essere modificato dall'assunzione di molecole (come il vino) o da stimolazioni esterne.

La mente riguarda il mondo interiore, i contenuti della coscienza e i processi cognitivi. Include il linguaggio interno, i pensieri, i sentimenti, i desideri e il senso di chi siamo. E' il regno delle esperienze soggettive, ed a differenza degli oggetti fisici, gli eventi mentali sono guidati da obiettivi, emozioni e pensieri. Mentre il ghiaccio si scioglie seguendo leggi fisiche, un essere umano agisce perché "vuole" qualcosa.

Una caratteristica peculiare della mente è l'intenzionalità: i pensieri sono sempre "riguardo a qualcosa" (un libro, un'idea), mentre un organo fisico (come lo stomaco o un dente) di per se stesso non è "riguardo a" nulla se non se stesso.

Mente e cervello sono le due facce della stessa medaglia: se guardiamo il mondo dall'interno dei nostri cervelli, facciamo un'esperienza mentale; se guardiamo i nostri cervelli dall'esterno (tramite uno scanner), osserviamo un oggetto fisico.

Nonostante possediamo miliardi di neuroni, la nostra attenzione e la nostra memoria sono estremamente ristrette, ma quando lo sguardo è precluso attiviamo il "fingere" nel senso di plasmare: costruendo spazi interminabili (... *sedendo e mirando, interminati / spazi di là da quella, e sovrumani / silenzi, e profondissima quiete / io nel pensier mi fingo*).

"...e il naufragar m'è dolce in questo mare."

Leopardi conclude la sua poesia con la perdita dei confini del Sé nell'immensità dell'infinito.

Luglio, 2026

Principi fondamentali

Gli ordine di grandezza

Da molecole a metri

Per comprendere il sistema mente-cervello è essenziale avere un'idea dei suoi **ordini di grandezza**, definiti come le potenze di dieci delle unità di misura fondamentali per la ricerca.

La distanza spaziale rilevante per le neuroscienze cognitive copre **sette ordini di grandezza**, partendo dalle molecole per arrivare al metro.

La scala della distanza (da 10^{-7}m a 1 m)

- **Molecole (10^{-7} metri):** Al livello più piccolo, le molecole che influenzano il cervello, come quelle di alcol o dopamina, hanno dimensioni sub-microscopiche. I neurotrasmettitori le diffondono attraverso le sinapsi, influenzando la comunicazione molecolare tra le cellule nervose.

- **Sinapsi (10^{-6} metri):** La larghezza di una sinapsi è di circa un milionesimo di metro (un micron).
- **Neuroni (10^{-4} metri):** I corpi cellulari dei neuroni sono circa cento volte più grandi delle sinapsi. Sebbene variano in dimensione, i neuroni sono straordinariamente piccoli e il nostro cervello ne contiene decine di miliardi.
- **Colonne corticali (10^{-3} metri):** I neuroni si raggruppano in piccole reti; le colonne corticali hanno un diametro di circa un millimetro, dimensione che è possibile vedere a occhio nudo.
- **Mappe cerebrali (10^{-2} metri):** Le mappe nel sistema visivo, come l'area V1, possono essere estese quanto una carta di credito, misurando diversi centimetri quadrati.
- **Reti cerebrali estese (10^{-1} metri):** Le reti di attivazione che interagiscono in tutto il cervello operano su una scala di circa dieci centimetri.
- **Livello comportamentale e neuroni lunghi (1 metro):** Il comportamento visibile avviene su scale dai centimetri in su (come il movimento di un dito o della lingua), mentre un singolo passo umano o i neuroni più lunghi del corpo misurano circa un metro.

Una **colonna corticale** è un'unità funzionale verticale della corteccia cerebrale e che attraversa perpendicolarmente tutti i sei strati orizzontali del tessuto neurale.

- **Organizzazione e Funzione:** All'interno di una singola colonna, i neuroni mostrano **proprietà di risposta simili**.
- **Dimensioni Fisiche:** Le colonne corticali hanno un diametro di circa **1 millimetro** (10^{-3} metri). Questo ordine di grandezza è già significativo perché rappresenta il livello in cui i raggruppamenti di neuroni che iniziano a essere visibili a occhio nudo.
- **Struttura a Matrice:** La corteccia cerebrale può essere immaginata come un "sandwich" a sei strati che può essere analizzato come una vasta matrice tridimensionale composta da **milioni di queste colonne verticali**. Ogni strato all'interno della colonna è specializzato per l'input, l'output o le connessioni interne.
- **Ipercolonne:** Più colonne corticali possono raggrupparsi tra loro per formare unità ancora più grandi chiamate **ipercolonne**, che a loro volta fanno parte di intere regioni specializzate.

Di fatto le colonne corticali rappresentano i moduli fondamentali per le elaborazioni delle informazioni permettendo ai neuroni con funzioni correlate di lavorare insieme in modo coordinato attraverso i vari strati della corteccia.

L'ampio contesto degli ordini di grandezza

E' del tutto ovvio che il progresso scientifico è strettamente legato alla nostra capacità di osservare il cervello a questi diversi ordini di grandezza richiedendo l'integrazione di dati che vanno dal livello submicroscopico a quello macroscopico:

1. **Integrazione Spaziale:** Le neuroscienze devono collegare ciò che accade a livello di **molecole e sinapsi** con le funzioni delle **grandi reti corticali**.
2. **Relazione con il Tempo:** Accanto alla distanza, la comprensione del cervello richiede di considerare anche **dieci ordini di grandezza temporale**, dal millesimo di secondo (il tempo di attivazione di un neurone) fino ai decenni (la durata della personalità o della memoria a lungo termine).
3. **Livelli di Analisi:** Queste scale fisiche si riflettono in quattro livelli fondamentali di studio: **genetico** (molecole), **cellulare** (neuroni), **sistemico** (morfologia e funzioni cerebrali) e **comportamentale** (pensiero e personalità).

Tempo

Il sistema mente-cervello, è anche imperniato sugli ordini di grandezza temporali, che spaziano dal millesimo di secondo (millisecondo) fino ai decenni.

Questa vasta scala permette di inquadrare processi che vanno dalla singola scarica neuronale alla stabilità della personalità umana.

1. La scala dei millisecondi (10^{-3} s)

- **Microsecondi:** Il cervello è capace di imprese straordinarie, come distinguere la differenza temporale tra i suoni che arrivano alle due orecchie per localizzare la sorgente sonora.
- **1 millisecondo:** È l'unità fondamentale al limite inferiore della scala utile; corrisponde al tempo necessario a un singolo neurone per emettere una scarica (spike: potenziale di azione, circa due millisecondi).
- **10-50 millisecondi:** È l'intervallo tipico di integrazione dei segnali dendritici (circa 10 ms) e della durata dei singoli fotogrammi in un film (circa 40 ms) per percepire un movimento fluido.

2. Il "Medio Ground" dei 100 millisecondi

I **100 ms** sono un'unità comportamentale cruciale:

- **Reazione e Coscienza:** È il tempo minimo di reazione semplice a uno stimolo e l'ordine di grandezza necessario affinché uno stimolo sensoriale diventi cosciente.
- **Sincronia Audio-Visiva:** Se il sonoro di un film è sfasato rispetto alle immagini per più di 100 ms, la percezione di unità si interrompe.
- **Ritmi Cerebrali:** Corrisponde alla frequenza delle onde alfa e theta del cervello.

Le **onde alfa e theta** sono ritmi cerebrali misurabili tramite l'elettroencefalogramma (EEG), che riflettono diverse velocità di scarica elettrica coordinata tra grandi popolazioni di neuroni.

Queste onde fanno parte di una vasta gamma di frequenze che il cervello utilizza per coordinare i processi cognitivi.

Onde Alfa (8-12 Hz)

Le onde alfa sono state i primi ritmi cerebrali umani osservati da Hans Berger nel 1929 e sono spesso chiamate "onde di Berger" in suo onore.

- **Caratteristiche e Origine:** Hanno una frequenza compresa tra **8 e 12 Hz** (cicli al secondo). Si originano prevalentemente nel **lobo occipitale** (la parte posteriore del cervello dedicata alla visione).
- **Stato Mentale:** Sono classicamente associate a uno stato di **rilassamento vigile**, tipicamente quando una persona ha gli occhi chiusi ma è ancora sveglia.
- **Blocco dell'Alfa:** Quando si aprono gli occhi o si avvia un'attività di pensiero attivo o immaginazione, il ritmo alfa viene interrotto (fenomeno chiamato "alpha blocking") e sostituito da onde beta e gamma più veloci e irregolari.
- **Funzione Cognitiva:** Sebbene inizialmente considerate un segnale di "riposo" (mental idling), ricerche recenti suggeriscono che l'alfa svolga un ruolo attivo nella **soppressione selettiva** di aree cerebrali irrilevanti per il compito in corso. Sono coinvolte anche nella memoria di lavoro e nel calcolo mentale.

Onde Theta (3.5-7.5 Hz)

Le onde theta sono ritmi più lenti che operano tipicamente tra **3.5 e 7.5 Hz**.

- **Origine e Coordinazione:** Sono uno dei ritmi fondamentali dell'**ippocampo** (una struttura antica del cervello) e sono cruciali per la comunicazione tra l'ippocampo e la **corteccia frontale**.
- **Funzioni Principali:** Sono strettamente legate alla **memoria**, in particolare alla codifica e al recupero dei ricordi episodici. Si manifestano anche durante alcuni stati di sonno, compiti di memoria a breve termine e stati di profonda concentrazione o meditazione.
- **Multiplexing (Trasporto):** Il ritmo theta agisce spesso come una "frequenza portante" per onde gamma più veloci, un processo simile alla modulazione radio AM, permettendo al cervello di organizzare e trasmettere informazioni dettagliate tra regioni distanti.

Il **ritmo theta** è il veicolo principale per i processi di memoria e la coordinazione tra aree cerebrali profonde e superficiali.

---

3. Secondi e Minuti (10^0 s – 10^2 s)

- **Cognizione immediata:** Leggere e comprendere una frase richiede diversi secondi; il cervello deve mantenere le informazioni nella memoria immediata per tutto il tempo necessario.
- **Memoria di lavoro:** I processi della memoria di lavoro operano tipicamente nell'ordine delle decine di secondi.
- **Integrazione narrativa:** Comprendere la trama di un film o un discorso complesso richiede un'integrazione cognitiva che dura molti minuti.

4. Ore, Giorni e Anni (10^3 s - 10^7 s e oltre)

- **Consolidamento:** Il passaggio dalla memoria a breve termine a quella a lungo termine avviene in diverse fasi: il consolidamento sinaptico richiede minuti o ore, mentre il consolidamento dei sistemi può richiedere giorni, mesi o addirittura anni.
- **Apprendimento di abilità:** Imparare a suonare uno strumento o a sciare è un processo che si sviluppa nell'arco di anni.
- **Sviluppo e Personalità:** Lo sviluppo del cervello, in particolare della corteccia frontale, prosegue fino alla tarda adolescenza, mentre la struttura di base della personalità tende a rimanere stabile per decenni.

Il contesto delle Scale di Magnitudine

Il cervello gestisce tutti questi eventi simultaneamente, in modo simile a una **sinfonia** dove note veloci (millisecondi) si inseriscono in frasi musicali (secondi) e interi movimenti (minuti/ore). Questa multidimensionalità temporale si riflette anche nei livelli di analisi biologica:

- **Livello Genetico:** Il DNA opera su scale che vanno dal ciclo circadiano di 24 ore alle ere geologiche (milioni di anni).

- **Livello Cellulare:** Le interazioni tra neuroni avvengono in millisecondi.
- **Livello Comportamentale:** Il pensiero e la personalità si manifestano su scale di anni e decenni.

Il binomio mente-cervello è la combinazione e la coordinazione di dati con ordini di grandezza diversi che spesso sfuggono alla nostra osservazione.

Metodi di indagini

Inferenza

L'**inferenza scientifica** è il processo dinamico e costante di passare dalle **osservazioni grezze ai concetti esplicativi**.

Questo passaggio dai dati fisici ai costrutti teorici è il pilastro della metodologia scientifica, permettendo di trasformare fenomeni osservabili in modelli comprensibili sul funzionamento del mondo e della mente.

1. La Costruzione di Reti Nomologiche

La scienza non si limita a collezionare fatti, ma crea un quadro esplicativo definito **"rete nomologica"**.

Questa è una rete di concetti etichettati e relazioni che insieme forniscono comprensione e permettono di formulare previsioni accurate.

Concetti come "gravità", **"memoria di lavoro"**, **"attenzione"** o **"coscienza"** non sono direttamente osservabili

in natura; sono **costrutti inferiti** a partire da osservazioni comportamentali e cerebrali condotte in condizioni controllate.

2. La Fallacia Seducente dei Dati Cerebrali

Un punto critico della metodologia riguarda la **"fallacia seducente"**: poiché le scansioni cerebrali appaiono come oggetti fisici reali che possiamo vedere, siamo tentati di pensare che rappresentino la "realtà grezza". In verità, tecniche come l'fMRI, l'EEG e la PET forniscono **misurazioni inferenziali** dell'attività cerebrale. Anche la registrazione di singoli neuroni offre solo un piccolissimo campione dell'attività di una foresta di miliardi di cellule.

3. L'Importanza delle Misure Convergenti

Per convalidare queste inferenze, la metodologia scientifica si affida alle **misure convergenti**. Poiché ogni strumento ha dei limiti (come il compromesso tra risoluzione spaziale e temporale), nessuna singola ricerca può stabilire un'ipotesi in modo definitivo.

Ogni affermazione importante richiede molteplici fonti di supporto, come studi su animali, tempi di reazione comportamentali e diverse tecniche di neuroimaging che puntino alla stessa conclusione.

4. Dalla Correlazione alla Causalità

Una distinzione metodologica essenziale è quella tra **correlazione** e **causalità**. Molte tecniche moderne mostrano quali aree si attivano durante un compito, ma questo indica solo una correlazione. Per stabilire nessi causali e capire se una regione è *necessaria* per una funzione, gli scienziati utilizzano:

- **Studi sulle lesioni:** Osservare i deficit che derivano da danni cerebrali reali (concetto di **doppia dissociazione**).
- **Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS):** Creare "lesioni virtuali" temporanee per testare il contributo specifico di un'area.
- **Modellazione Causale Dinamica (DCM):** Strumenti analitici per stimare le relazioni di causa ed effetto tra diverse regioni attivate.

5. Natura Provvisoria e Assunzioni Semplificative

La scienza progredisce facendo **assunzioni semplificative** (come il modello del neurone "integrate-and-fire"), che sono punti di partenza necessari per gestire la complessità. Tuttavia tutti i concetti inferiti sono **tentativi e soggetti a revisione**.

Come la gravità di Newton è stata reinterpretata da Einstein, così i costrutti attuali delle neuroscienze devono essere pronti a cambiare se emergono prove più convincenti o modelli teorici più attraenti.

Misure convergenti

Il concetto di **misure convergenti** è la pietra angolare della metodologia scientifica.

Poiché non esiste un "metodo perfetto" la scienza procede assemblando frammenti di dati come in un **collage**, dove diverse tecniche si completano a vicenda per formare un'immagine coerente della realtà.

1. Il Superamento dello Scetticismo e la Verifica

Lo scetticismo è la norma nella scienza. Nessuna singola ricerca può stabilire un'ipotesi in modo definitivo; ogni affermazione importante richiede **molteplici fonti di supporto**.

Ad esempio, una teoria sulle funzioni prefrontali diventa solida solo quando prove provenienti da compiti diversi e gruppi di soggetti differenti puntano alla stessa conclusione.

2. Il Compromesso tra Tempo e Spazio (Trade-off)

Una ragione fondamentale per l'uso di misure convergenti è che, allo stato attuale della tecnologia, non è possibile ottenere contemporaneamente un'alta risoluzione spaziale e temporale con un unico strumento. La metodologia scientifica risolve questo limite combinando:

- **Tecniche emodinamiche (fMRI, PET):** Eccellenti per localizzare *dove* avviene un processo (risoluzione spaziale), ma lente nella risposta.
- **Tecniche elettromagnetiche (EEG, MEG, ERP):** Eccellenti per tracciare *quando* avviene un processo in millisecondi (risoluzione temporale), ma con una localizzazione meno precisa. L'integrazione di questi dati permette di mappare l'attività cerebrale lungo tutti gli ordini di grandezza necessari per la comprensione.

3. Validazione dei Costrutti Psicologici

I concetti come la **"memoria di lavoro"**, l'**"attenzione"** o la **"coscienza"** non sono osservabili direttamente; sono **costrutti inferiti**.

Le misure convergenti servono a convalidare questi inferenze: se un indice comportamentale (come il tempo di reazione) converge con un indice cerebrale (come l'attivazione della corteccia parietale), il costrutto teorico acquista credibilità scientifica.

Ad esempio, gli indici cerebrali della memoria di lavoro mostrano una forte convergenza con le misure comportamentali classiche, confermando l'utilità del concetto.

4. Dalla Correlazione alla Necessità

Un aspetto critico della metodologia, come già anticipato, è la distinzione tra **correlazione** (osservata con fMRI e PET) e **causalità**. Per provare che un'area cerebrale è *essenziale* per una funzione, le neuroscienze fanno convergere i dati di neuroimaging con:

- **Studi sulle lesioni:** Osservando i deficit permanenti in pazienti umani o animali.

- **Stimolazione Magnetica Transcranica (TMS):** Creando "lesioni virtuali" temporanee e reversibili per testare il nesso causale tra un'area e un comportamento.

5. Convergenza tra Specie e Popolazioni

La metodologia scientifica moderna cerca anche una convergenza tra **studi animali** (che permettono registrazioni di singoli neuroni altrimenti impossibili) e **studi sull'uomo**.

Le scoperte effettuate sui macachi vengono verificate e integrate con studi di neuroimaging funzionale su esseri umani per assicurarne la generalizzabilità.

Allo stesso modo, nello studio dello sviluppo, si cerca convergenza tra misure comportamentali nei neonati (come il tracciamento oculare) e tecniche non invasive come l'EEG o la NIRS.

In questo quadro le misure convergenti permettono di trasformare i dati grezzi provenienti da strumenti diversi in una **rete nomologica** coerente aumentando la fiducia nella realtà dei fenomeni scoperti.

Anatomia

Lobo frontale: AZIONE

Corteccia prefrontale

Il **lobo frontale** è il centro di controllo dell'**azione** e del comportamento orientato a scopi, e spesso è stato definito come l'**organo della civiltà**.

All'interno di questo lobo, la **corteccia prefrontale** rappresenta la parte più anteriore e filogeneticamente recente, specializzata nelle funzioni cognitive di alto livello che coordinano l'output motorio e il pensiero.

1. La Divisione tra Input e Output

Il cervello è anatomicamente diviso dal **solco centrale**, che separa la metà posteriore (sensoriale o di "input") dal lobo frontale (motorio e cognitivo o di **"output"**). Mentre la parte posteriore

del cervello si occupa del presente percettivo, il lobo frontale cerca di **prevedere e controllare il futuro** attraverso l'azione.

2. Gerarchia dell'Azione (da Astrazione a Codice Motorio)

Il controllo dell'azione nel lobo frontale è organizzato in una **gerarchia di elaborazione**:

- **PFC (Poli Frontali):** Qui vengono rappresentati gli **obiettivi più generali e astratti**, come i piani a lungo termine e le ambizioni.
- **Corteccia Premotoria:** Man mano che ci si sposta posteriormente, i piani diventano meno astratti e si trasformano in **intenzioni e urgenze all'azione**.
- **Corteccia Motoria Primaria (M1):** Situata appena prima del solco centrale, innesca direttamente il movimento dei muscoli scheletrici attraverso codici motori specifici.

3. Funzioni Esecutive e "Metacognizione"

La PFC è il supporto neurale per le **funzioni esecutive**, spesso paragonate al ruolo di un amministratore delegato (CEO) di un'organizzazione. Queste funzioni non riguardano una singola abilità mentale, ma forniscono un'organizzazione "metacognitiva" che include:

- **Iniziare e pianificare** attività.
- **Inibire impulsi** indesiderati o azioni inefficaci.
- **Flessibilità mentale:** La capacità di passare da un set mentale a un altro o di adattare i piani in caso di imprevisti (capacità testata con il *Wisconsin Card Sorting Test*).
- **Monitoraggio:** Valutare se l'esito dell'azione corrisponde all'intenzione originaria.

4. Il Ruolo nel "Lavorare con la Memoria"

Piuttosto che essere un semplice sito di stoccaggio, la PFC agisce come una struttura che **"lavora con la memoria"** (*working-with-memory*). Essa esercita un controllo top-down sulle aree sensoriali posteriori e temporali (come l'ippocampo) per selezionare le informazioni rilevanti per l'obiettivo attuale e mantenerle attive nella **memoria di lavoro**.

5. Sviluppo, Personalità e Comportamento Sociale

La PFC è fondamentale per la formazione della **personalità** e della moralità sociale.

- **Casi Clinici:** Il caso storico di **Phineas Gage**[1] ha dimostrato come danni alla PFC possano lasciare intatte intelligenza e linguaggio ma distruggere la capacità di pianificare e regolare il comportamento sociale, portando a cambiamenti radicali di personalità.

1 ***Phineas P. Gage*** è una delle figure più celebri e importanti nella storia delle neuroscienze, poiché il suo caso ha fornito le prime prove concrete del legame tra cervello, personalità e comportamento sociale.

L'incidente (1848): All'età di 25 anni, Gage era un caposquadra ferroviario. Durante il caricamento di una carica esplosiva, questa esplose accidentalmente, sparando un'asta di ferro (lunga circa 60 cm) attraverso il suo cranio.

Danni cerebrali: L'asta trapassò i suoi lobi frontali, con danni probabili anche alle regioni orbitofrontali e frontali mediali. Nonostante la gravità della ferita, Gage sopravvisse miracolosamente e recuperò gran parte delle sue capacità fisiche, come il movimento, la parola, la vista e l'intelligenza di base.

Cambiamento radicale di personalità: Sebbene le sue funzioni cognitive sembrassero intatte, la sua personalità subì una trasformazione profonda. Da uomo equilibrato e capace, divenne impulsivo, irriverente, profano e incapace di pianificare il futuro. I suoi amici e conoscenti arrivarono a dire che "non era più Gage".

Importanza scientifica: Il caso di Gage dimostrò che i lobi frontali non sono necessari per la sopravvivenza o per l'intelligenza elementare, ma sono fondamentali per le funzioni esecutive, il controllo degli impulsi e la moralità sociale. Prima del suo caso, i lobi frontali erano spesso considerati "lobi silenti" perché non sembravano avere una funzione specifica.

Ricostruzioni moderne: In tempi recenti, scienziati come Hannah Damasio hanno effettuato ricostruzioni computerizzate del danno cerebrale di Gage basandosi sulla sua maschera mortuaria, confermando il coinvolgimento massiccio della corteccia prefrontale.

- **Sviluppo:** È l'ultima area del cervello a maturare, completando la mielinizzazione verso i 18 anni, età che spesso coincide con il riconoscimento legale della maturità sociale.
- **Corteccia Orbitofrontale (OFC):** Coinvolta nella valutazione dei premi futuri e nell'inibizione comportamentale; danni qui possono portare a sindromi disinibite e "agnosia morale".

6. La PFC come "Hub" di Connettività

La PFC è connessa direttamente con quasi ogni unità funzionale del cervello (talamo, gangli della base, cervelletto, sistema limbico e cortecce sensoriali). Questa **connettività massiva** la rende il luogo dove tutte le informazioni convergono, permettendo l'integrazione necessaria per la coscienza e il controllo volontario delle azioni.

Funzioni esecutive

Il **lobo frontale** come il centro di controllo dell'**azione** e del comportamento diretto a scopi ben precisi, separandolo

nettamente dalla corteccia posteriore, che è prevalentemente sensoriale.

Mentre la parte posteriore del cervello si occupa del presente percettivo, il lobo frontale cerca di **prevedere e controllare il futuro** attraverso l'azione organizzata.

In questo contesto, le **funzioni esecutive** rappresentano il sistema di controllo di alto livello che coordina l'output motorio e cognitivo.

1. Definizione e Metafora del "CEO"

Le funzioni esecutive sono spesso descritte attraverso la metafora di un **Amministratore Delegato (CEO)** di un'organizzazione. Proprio come un CEO, questo sistema ha il controllo supremo sulle azioni: stabilisce obiettivi, pianifica e organizza le attività per raggiungerli, e decide quando iniziare, interrompere o modificare un comportamento. Queste funzioni sono di natura **metacognitiva**, poiché non si riferiscono a una singola abilità mentale (come il linguaggio o la visione), ma forniscono un'organizzazione sovrastante a tutte le altre.

2. Componenti Chiave delle Funzioni Esecutive

Le funzioni esecutive includono diversi processi critici:

- **Pianificazione e Iniziazione:** La capacità di formulare obiettivi generali e stabilire i passi necessari per raggiungerli.
- **Flessibilità Mentale:** Definita come la capacità di "cambiare marcia" quando accade qualcosa di inaspettato o di rispondere rapidamente a contingenze ambientali impreviste. Questa capacità è testata clinicamente con il *Wisconsin Card Sorting Test*.
- **Inibizione:** Il controllo degli impulsi indesiderati o delle azioni inefficaci e controproducenti.
- **Monitoraggio e Valutazione:** Valutare costantemente se l'esito dell'azione corrisponde all'intenzione originale e correggere eventuali errori.

3. La Gerarchia dell'Azione nel Lobo Frontale

Il controllo dell'azione è organizzato gerarchicamente lungo l'asse antero-posteriore del lobo frontale:

- **PFC Anteriore (Poli Frontali):** Rappresenta gli obiettivi più **astratti** e i piani a lungo termine.

- **Regioni Posteriori (Corteccia Premotoria):** Trasformano i piani astratti in intenzioni e "urgenze" all'azione meno astratte.
- **Corteccia Motoria Primaria (M1):** Situata appena prima del solco centrale, esegue direttamente i comandi motori per i muscoli.

4. Il Legame con Memoria di Lavoro e Attenzione

Le funzioni esecutive lavorano in stretta sinergia con altri sistemi cognitivi:

- **Lavorare con la Memoria (Working-with-memory):** Piuttosto che agire come un semplice archivio, la corteccia prefrontale (PFC) manipola e organizza attivamente le informazioni fornite dai sistemi di memoria temporale mediale (come l'ippocampo) per servire gli obiettivi attuali.
- **Attenzione Esecutiva:** È l'aspetto volontario dell'attenzione (top-down), in cui il "CEO" decide deliberatamente su cosa concentrare le risorse cognitive, spesso contrastando distrazioni o tendenze automatiche.

5. Evidenze Cliniche e Sindromi

L'importanza delle funzioni esecutive emerge chiaramente quando il lobo frontale è danneggiato:

- **Il caso di Phineas Gage:** Dimostrò che un danno alla PFC può lasciare intatte intelligenza e linguaggio, ma distruggere la capacità di pianificare e regolare il comportamento sociale e morale.
- **Sindrome Dorsolaterale:** Caratterizzata da una drastica riduzione dell'iniziativa, apatia e **comportamento dipendente dal campo** (il paziente agisce in base agli stimoli che ha davanti, anche se non hanno senso, come bere da una tazza vuota solo perché è lì).
- **Sindrome Orbitofrontale:** Comporta disinibizione emotiva, perdita del controllo degli impulsi e incapacità di prevedere le conseguenze delle proprie azioni ("agnosia morale").

In pratica le funzioni esecutive trasformano il cervello da un sistema puramente reattivo a uno **proattivo**, capace di creare "memorie del futuro" e di agire in modo civile e organizzato.

Pianificazione

All'interno del lobo frontale la **pianificazione e la definizione dei goal** *(obbiettivi)* sono considerate le funzioni cognitive più elevate, permettendo all'essere umano di essere un soggetto **proattivo** invece che puramente reattivo.

1. La "Memoria del Futuro" e la Proattività

Il concetto fondamentale che lega il lobo frontale all'azione è la **"memoria del futuro"**. Mentre la memoria tradizionale riguarda il passato, questa funzione permette di:

- Creare **modelli neurali** di qualcosa che ancora non esiste, ma che si desidera realizzare.
- Formulare visioni del futuro (goal) e trasformarle in piani d'azione sostenuti nel tempo.
- Manipolare e ricombinare le esperienze passate per configurare piani inediti, una capacità essenziale per attività umane come la creazione di strumenti.

2. Il Processo di Problem Solving e lo "Spazio del Problema"

La pianificazione è strettamente legata alla risoluzione esplicita dei problemi. Questo processo richiede:

- La creazione di una **rappresentazione mentale** sia della situazione attuale che dell'obbiettivo.
- La definizione dei passi necessari per trasformare lo stato iniziale nello stato finale desiderato.
- L'esplorazione di uno **"spazio del problema"**, inteso come un labirinto di punti di scelta tra possibili sottogoal verso l'obiettivo finale. Test come la **Torre di Londra (o di Hanoi)** sono usati per misurare questa capacità di pianificazione sequenziale.

3. Strutture Neurali Chiave

- **Dorsolaterale Prefrontale (DL-PFC):** È identificata come il vero e proprio **"processore dei goal"**, attiva durante la risoluzione di compiti complessi che richiedono pianificazione.
- **Cingolato Anteriore (ACC):** Agisce come un monitor dell'attività, rilevando errori o **conflitti tra goal** concorrenti per permettere alla pianificazione di rimanere efficace.
- **Corteccia Orbitofrontale (OFC):** È coinvolta nella **selezione dei goal** basata sulla valutazione dei premi futuri e dei rischi.

4. Il Fallimento della Pianificazione: Evidenze Cliniche

L'importanza del lobo frontale per la pianificazione emerge drammaticamente nei casi di danno cerebrale. Pazienti con lesioni frontali, come il celebre **Phineas Gage**, possono mantenere intatti linguaggio e intelligenza di base, ma perdono la capacità di **perseguire obiettivi di vita** o di seguire piani d'azione coerenti.

Questi soggetti possono diventare "dipendenti dal campo", agendo in base agli stimoli ambientali immediati invece di seguire un piano programmato internamente.

Linguaggio: Area di Broca

L'**Area di Broca** è una regione fondamentale situata nel **lobo frontale** dove risiede il centro nevralgico della **produzione del linguaggio**.

Inserita nel contesto più ampio dell'**azione**, essa non è solo il modulo isolato per la parola, ma una parte integrante della gerarchia motoria e cognitiva del cervello.

1. La "Corteccia Premotoria" del Linguaggio

Il lobo frontale è organizzato gerarchicamente: le aree anteriori gestiscono obiettivi astratti, mentre quelle posteriori traducono tali piani in codici motori. In questo schema, l'Area di Broca agisce come una **corteccia premotoria specializzata per la parola**.

- **Intenzione vs. Esecuzione:** Mentre la stimolazione della corteccia motoria primaria provoca movimenti muscolari diretti, la stimolazione dell'area di Broca blocca l'**intenzione di parlare**.
- **Vicinanza Strategica:** La sua posizione non è casuale: si trova immediatamente adiacente alle aree della "corteccia motoria" che controllano la bocca, la lingua e l'apparato vocale.

2. Unificazione e Pianificazione Cognitiva

Oltre alla mera produzione sonora, studi moderni suggeriscono che l'Area di Broca svolga un ruolo di **unificazione**.

- **Integrazione di Codici:** Funziona come una "zona di convergenza" dove i suoni, i significati e le relazioni sintattiche vengono combinati in un piano integrato prima di essere inviati alla mappa motoria per l'esecuzione.

- **Linguaggio Interno:** È coinvolta attivamente nel **linguaggio interno** (*inner speech*), ovvero il monologo privato che gli esseri umani utilizzano per pianificare attività e gestire la memoria di lavoro.

3. Legame tra Azione e Intenzione: I Neuroni Specchio

Un aspetto sorprendente rivelato dalle fonti è che l'Area di Broca possiede capacità che vanno oltre il linguaggio:

- **Riconoscimento dell'Azione:** Questa regione si attiva non solo durante il parlato, ma anche durante l'osservazione e l'esecuzione di **azioni manuali** (come afferrare o raggiungere oggetti).
- **Base per la Comunicazione:** Questo suggerisce che il linguaggio umano possa essersi evoluto da sistemi frontali pre-esistenti dedicati alla comprensione delle intenzioni altrui attraverso l'osservazione delle loro azioni.

4. Il Sistema di "Output" e le Afasie

L'Area di Broca è parte della metà anteriore del cervello dedicata all'**output** e al controllo del futuro, in opposizione alla metà posteriore dedicata all'input sensoriale.

- **Afasia di Broca:** Un danno in quest'area compromette la capacità di produrre linguaggio fluente (spesso riducendolo a singole sillabe, come nel caso storico del paziente "Tan"[2]), pur lasciando relativamente intatta la comprensione (gestita dall'area di Wernicke nel lobo temporale).
- **Connettività:** L'Area di Broca comunica costantemente con le aree sensoriali posteriori attraverso il **fascicolo arcuato**, una "autostrada" di materia bianca che permette di coordinare ciò che sentiamo con ciò che intendiamo dire.

---

2 Il paziente noto come "Tan" permise a Pierre-Paul Broca di localizzare per la prima volta la funzione della produzione del linguaggio nel cervello.

Storia e sintomatologia: "Tan" era un uomo di 51 anni che morì nel 1861 sotto le cure di Broca presso l'ospedale Bicêtre (Francia). All'età di 21 anni aveva perso quasi completamente l'uso della parola; non era in grado di pronunciare altro che la singola sillaba "tan", che solitamente ripeteva due volte di seguito ("tan, tan"). Nonostante questa limitazione, utilizzava gesti espressivi molto vari per comunicare e la sua intelligenza sembrava preservata.

La scoperta anatomica: Dopo la morte del paziente, Broca eseguì un'autopsia e scoprì una lesione massiccia (un vero e proprio "buco") nella parte posteriore della terza circonvoluzione frontale dell'emisfero sinistro. Broca concluse che questa specifica area era indispensabile per la produzione della parola.

Importanza scientifica: Questo caso fornì la prima prova convincente della localizzazione cerebrale, ovvero l'idea che regioni specifiche del cervello servano a funzioni molto specifiche. L'area danneggiata in "Tan" è oggi universalmente nota come Area di Broca, e il deficit di produzione del linguaggio che ne deriva è chiamato afasia di Broca.

L'Area di Broca rappresenta l'apice della capacità del lobo frontale di trasformare concetti astratti e intenzioni sociali in **azioni motorie coordinate e complesse**, rendendo possibile la civiltà umana attraverso il linguaggio.

Corteccia posteriore: PERCEZIONE

Visione

La **corteccia posteriore** è la metà del cervello dedicata prevalentemente all'**input sensoriale** e alla **percezione**, in netta contrapposizione con il lobo frontale, che è orientato all'output e all'azione. Mentre la parte anteriore cerca di controllare il futuro, la corteccia posteriore elabora il **"presente percettivo"**.

1. Organizzazione Anatomica e Divisione Input-Output

La corteccia è divisa dal **solco centrale**, un punto di riferimento fondamentale che separa la metà posteriore (sensoriale) da quella frontale (motoria ed esecutiva). La corteccia posteriore comprende tre dei quattro lobi principali:

- **Lobo Occipitale:** Situato nella parte più posteriore, è la sede della corteccia visiva.
- **Lobo Temporale:** Posizionato sotto il solco laterale (scissura di Silvio), è specializzato nell'udito e nel riconoscimento degli oggetti.

- **Lobo Parietale:** Situato superiormente al lobo temporale e dietro il solco centrale, gestisce il senso del corpo e lo spazio.

2. Elaborazione Gerarchica e Aree di Proiezione

Tutte le vie sensoriali terminano nella parte posteriore della corteccia, dove gli stimoli vengono analizzati ai massimi livelli. L'elaborazione segue una gerarchia che parte dalle **aree di proiezione primaria**:

- **V1 (Corteccia visiva primaria):** Riceve i segnali direttamente dalla retina attraverso il talamo.
- **A1 (Corteccia uditiva primaria):** Situata nel piano supratemporale all'interno della scissura di Silvio.
- **S1 (Corteccia somatosensoriale primaria):** Posizionata immediatamente dietro il solco centrale, contiene una mappa del corpo nota come "homunculus somatosensoriale".

Man mano che l'informazione fluisce dalle aree primarie verso le regioni associative, le rappresentazioni diventano sempre più **astratte e integrate**.

3. I Due Flussi della Percezione: "What" e "Where"

Si individuano due percorsi paralleli che partono dalle aree visive primarie verso altre regioni della corteccia posteriore:

- **Via Ventrale (percorso del "Cosa" -** What**):** Si dirige verso il lobo temporale ed è cruciale per identificare oggetti, volti (area fusiforme per i volti o FFA) e luoghi.
- **Via Dorsale (percorso del "Dove" -** Where**):** Si dirige verso il lobo parietale ed è fondamentale per localizzare gli oggetti nello spazio e guidare le azioni motorie, come afferrare un oggetto.

4. Integrazione Multisensoriale e Memoria Percettiva

Il lobo parietale funge da importante centro di **unificazione**, dove le informazioni provenienti da diversi sensi (visione, udito, tatto) vengono "legate insieme" in una mappa coerente dello spazio circostante (spazio egocentrico[3]). Inoltre, la corteccia posteriore è considerata la sede della **memoria sensoriale e percettiva**.

3 In psicologia e neuroscienze, lo spazio egocentrico è la rappresentazione dell'ambiente circostante basata sulla posizione del proprio corpo. La distanza e la direzione degli oggetti sono calcolate rispetto a coordinate personali (es. "a destra del mio naso" o "fuori dalla portata della mia mano"). Esso si contrappone allo spazio allocentrico (o oggettivo), che mappa l'ambiente indipendentemente dalla nostra posizione, come su una mappa vista dall'alto

Joaquin Fuster[4] suggerisce che le tracce di memoria a lungo termine siano immagazzinate nelle stesse aree responsabili dell'elaborazione attiva dei dati: la corteccia posteriore conserva quindi le "varietà percettive" dell'esperienza vissuta.

5. Ruolo nella Coscienza e nell'Attenzione

Sebbene la corteccia prefrontale eserciti un controllo top-down, la corteccia posteriore contribuisce direttamente ai **contenuti della coscienza** (come la sensazione del colore rosso o il suono di una voce). Le regioni sensoriali posteriori sono particolarmente sensibili all'**attenzione**, che può "illuminare" o amplificare specifici stimoli sensoriali rendendoli vividi e consci.

Recenti evidenze suggeriscono che la coscienza percettiva possa attivare la corteccia in direzione opposta rispetto all'attenzione: dalle aree sensoriali primarie verso le regioni frontali.

4 Professore di Psichiatria e Scienze Bio-comportamentali. Noto per i suoi contributi alle neuroscienze cognitive che influenzano la nostra comprensione della percezione e della memoria. Primo a registrare l'attività delle cellule della memoria nella corteccia frontale di scimmie sveglie e impegnate in un'attività. Ha analizzato le funzioni cognitive della corteccia frontale, sottolineandone il ruolo nelle funzioni esecutive, nella pianificazione e nell'organizzazione dell'azione. Il suo lavoro ha portato alla visione, ora dominante, secondo cui la corteccia prefrontale fa parte di una rete distribuita attraverso la quale esercita un controllo dall'alto verso il basso sull'elaborazione sensoriale e svolge un ruolo ampio nel controllo cognitivo del comportamento, del linguaggio e del ragionamento.

Udito

L'**area uditiva primaria (A1)** è il punto di ingresso fondamentale per l'elaborazione dei suoni nella corteccia, situata strategicamente all'interno della **corteccia posteriore.**

1. Localizzazione e Anatomia

- **Sito di Proiezione Primaria:** l'area A1 è la zona di proiezione primaria per i segnali uditivi.
- **Posizione:** Si trova nel **giro di Heschl**, situato sulle sponde superiori del lobo temporale, profondamente nascosto all'interno della **scissura di Silvio** (o scissura laterale).
- **Asimmetria:** Il giro di Heschl è tipicamente situato circa 6 mm più avanti nell'emisfero destro rispetto al sinistro.

2. Organizzazione Funzionale

- **Tonotopia:** Come la corteccia visiva è mappata spazialmente (retinotopia), la corteccia uditiva è organizzata per frequenze, o **tonotopicamente**. Viene paragonata alle corde di un'arpa, dove aree diverse rispondono a diverse altezze tonali.

- **Organizzazione Colonnare:** Seguendo il principio generale della corteccia, A1 è organizzata in **colonne verticali** che attraversano i sei strati corticali; i neuroni all'interno di una singola colonna mostrano proprietà di risposta simili.
- **Interazioni Binaurali:** Molti neuroni in A1 rispondono agli input di entrambe le orecchie, organizzati in colonne alternate che sommano o sopprimono le informazioni provenienti dai due lati per aiutare in compiti come la localizzazione del suono.

3. Elaborazione Gerarchica e Flussi "What" e "Where"

L'udito non avviene isolatamente, ma si inserisce in una gerarchia di elaborazione:

- **Nucleo e Cintura:** L'area A1 (il "core") riceve segnali dal talamo e proietta alle aree circostanti chiamate **"belt" e "parabelt"** (unimodali), dove avviene l'estrazione di caratteristiche più complesse, come nel *planum temporale*.
- **Via del "Cosa" (What):** Si dirige verso il lobo temporale inferiore per l'identificazione degli oggetti uditivi (voci, strumenti, suoni ambientali).
- **Via del "Dove" (Where):** Si dirige verso il lobo parietale per la localizzazione spaziale dei suoni.

- **Integrazione Multisensoriale:** I segnali uditivi fluiscono infine verso il **lobo parietale**, dove vengono integrati con la visione e il tatto per formare una mappa coerente dello spazio che circonda il corpo.

4. Risoluzione Temporale e Coscienza

- **Precisione del Millisecondo:** L'udito è caratterizzato da una straordinaria risoluzione temporale. Il nervo acustico può scaricare fino a 1000 volte al secondo per seguire le onde sonore, e il sistema può distinguere differenze di microsecondi per la localizzazione spaziale.
- **Udito nel Sonno:** L'area A1 rimane attiva anche durante il **sonno** o l'**anestesia**. In questi stati, la corteccia codifica la presenza del suono ma non riesce a differenziarne il significato complesso, suggerendo che la percezione conscia richieda un'integrazione più ampia con le aree frontali.
- **Attenzione Selettiva:** La corteccia posteriore, inclusa A1, è altamente sensibile al controllo "top-down" dell'attenzione. Se un soggetto presta attenzione all'orecchio destro, si osserva una maggiore attivazione nella corteccia uditiva controlaterale (sinistra).

L'area A1 agisce come il gateway sensoriale della corteccia posteriore per il mondo sonoro, trasformando le vibrazioni

meccaniche in codici neurali che vengono poi distribuiti e integrati in flussi percettivi complessi, fondamentali sia per la comunicazione (linguaggio) che per la sopravvivenza (localizzazione dei pericoli).

Somatosensiorale

La **corteccia somatosensoriale primaria (S1)** è l'area di proiezione primaria per i segnali provenienti dal corpo, situata strategicamente all'interno della **corteccia posteriore**, la metà del cervello dedicata all'elaborazione dell'input sensoriale e del "presente percettivo".

1. Localizzazione e Anatomia

- **Posizione:** S1 si trova nel **lobo parietale**, immediatamente dietro il **solco centrale**, che funge da confine netto tra le aree di input (posteriori) e quelle di output (frontali).
- **Homunculus Somatosensoriale:** All'interno di S1, il corpo umano è mappato in modo topografico, creando una figura nota come **"homunculus"**. Questa mappa non è

proporzionale alle dimensioni fisiche, ma alla **sensibilità dei recettori**: aree come le mani e il viso hanno una rappresentazione corticale molto più estesa rispetto al tronco o alla schiena.

- **Scoperta Storica:** Questa organizzazione fu mappata per la prima volta dal neurochirurgo **Wilder Penfield**, che stimolò elettricamente la corteccia di pazienti svegli, i quali riferirono sensazioni di tocco in specifiche parti del corpo.

2. Accoppiamento Sensorimotorio

S1 non lavora in isolamento, ma è parte di un sistema integrato di azione e percezione:

- **Connessione con M1:** Esiste una stretta vicinanza fisica e funzionale tra S1 e la corteccia motoria primaria (M1), situata appena oltre il solco centrale nel lobo frontale. Questo permette un **accoppiamento rapido** tra il senso del tatto, della pressione e del dolore con il sistema dei movimenti.
- **Ciclo Percezione-Azione:** Joaquin Fuster descrive questo legame come un **"ciclo percezione-azione"**, dove i dati sensoriali di S1 guidano costantemente i piani motori e, a loro volta, le azioni motorie forniscono nuovi input sensoriali (come quando sentiamo la nostra stessa voce mentre parliamo).

3. Plasticità Neurale e Riorganizzazione

Le fonti forniscono prove evidenti della **plasticità** di S1, dimostrando che le mappe del corpo non sono fisse ma possono cambiare in base all'esperienza:

- **Riorganizzazione dopo Amputazione:** Studi su pazienti amputati (usando la MEG) mostrano che se un braccio viene perso, l'area di S1 che prima riceveva input da quell'arto può iniziare a rispondere a stimoli provenienti dal viso. Questo fenomeno spiega le **sensazioni dell'arto fantasma**, dove stimolare il viso può provocare una sensazione tattile nella mano mancante.
- **Effetti dell'Allenamento:** Anche la semplice pratica ripetitiva di un movimento (come digitare sulla tastiera) può innescare una riassegnazione dei neuroni nelle mappe corticali delle dita.

4. Integrazione nel "Where Stream" (Via Dorsale)

S1 è un tassello fondamentale nel sistema di navigazione spaziale gestito dal lobo parietale:

- **Integrazione Multimodale:** Le informazioni tattili di S1 fluiscono verso le aree associative del lobo parietale, dove vengono integrate con i segnali visivi e uditivi.
- **Mappe dello Spazio Egocentrico:** Questa unificazione permette al cervello di costruire una **mappa**

coerente dello spazio che circonda il corpo (spazio egocentrico), permettendoci di sapere dove sono le nostre mani anche a occhi chiusi o di identificare oggetti al tatto (trasferimento cross-modale).

S1 è il gateway primario per la coscienza del corpo, trasformando gli stimoli fisici in una mappa dinamica che non solo definisce la nostra sensibilità tattile, ma guida anche l'azione volontaria e la nostra percezione dello spazio circostante.

Strutture sottocorticali

Talamo

Il **talamo** è una delle strutture più cruciali situata nel cuore del cervello, agendo come il principale **hub sensoriale** e stazione di rilievo per quasi tutte le informazioni dirette alla corteccia. Inserito nel contesto più ampio delle **strutture sottocorticali** funge da punto di controllo strategico per il traffico neurale.

1. Il Talamo come "Gateway" Sensoriale

Il talamo è composto da due strutture a forma di uovo, una per ogni emisfero, poste all'estremità superiore del tronco encefalico. La sua funzione primaria è quella di **stazione di smistamento**:

- **Visione:** Attraverso il **nucleo genicolato laterale (LGN)**, riceve i segnali dalla retina e li invia alla corteccia visiva primaria (V1).
- **Udito:** Il **corpo genicolato mediale (MGB)** funge da relè per i segnali uditivi diretti alla corteccia temporale.

- **Somatosensorialità:** Il **nucleo ventroposteriore (VB)** smista le informazioni sul tatto e sul dolore dal corpo alla corteccia parietale.
- **Eccezione dell'Olfatto:** È interessante notare che l'olfatto è l'unico sistema sensoriale antico che può raggiungere l'amigdala e la corteccia senza passare prima per il talamo[5].

2. Il Sistema Talamo-Corticale e la Coscienza

Il talamo non è solo un passivo trasmettitore di dati; esso forma un'unità funzionale inscindibile con la corteccia, chiamata **sistema talamo-corticale**.

- **Connettività Ricorsiva:** Nel talamo il traffico è bidirezionale: ad esempio, il 90% delle fibre tra l'LGN e la corteccia V1 corre effettivamente "al contrario", cioè dalla corteccia verso il talamo.
- **Base della Coscienza:** Gerald Edelman propone che le esperienze conscie derivino proprio dalle interazioni rientranti (reentry) in questo sistema, formando un "nucleo dinamico" di neuroni che risuonano tra loro.

5 L'olfatto opera attraverso una via privilegiata e ancestrale che bypassa il "centralino" talamico, permettendo un legame immediato e potente con i sistemi della memoria e delle emozioni, un tratto che è particolarmente prominente nei mammiferi che, come il cane e i roditori, basano gran parte della loro interazione con il mondo su questo senso.

- **Stato di Veglia e Sonno:** Durante il sonno profondo, il talamo genera i "fusi del sonno" (spindles), mentre nella veglia i suoi neuroni scaricano rapidamente per mantenere l'allerta.

3. Ruolo nell'Attenzione e nell'Esecuzione

All'interno del sistema esecutivo, nuclei specifici come il **pulvinar** e il **nucleo mediodorsale** sono essenziali per il controllo dell'attenzione. Essi permettono ai sistemi frontali e parietali di "illuminare" o amplificare l'elaborazione sensoriale nelle aree posteriori. Il talamo è quindi considerato un sistema di **"gating e reporting"** che decide quali informazioni debbano essere trasmesse alla coscienza.

4. Il Talamo nel Contesto Sottocorticale

Il talamo interagisce costantemente con gli altri "satelliti" della sottocorteccia:

- **Gangli della Base:** Mentre il talamo è l'hub principale di **input** (sensoriale), i gangli della base agiscono come l'hub principale di **output** per il controllo motorio e le funzioni esecutive.
- **Sistema Limbico:** Il talamo è strettamente connesso all'**ippocampo** (memoria) e all'**amigdala** (emozioni). In particolare, l'amigdala riceve proiezioni talamiche "veloci e

grossolane" (la via bassa) che permettono risposte di paura immediate, prima ancora che la corteccia analizzi lo stimolo consciamente.

- **Formazione Reticolare:** Il sistema attivante reticolare ascendente (ARAS) attraversa il talamo per attivare globalmente la corteccia, un processo fondamentale per lo stato di veglia.

Il talamo è molto più di un semplice relè: è il **regolatore centrale** che coordina il flusso di informazioni tra il mondo esterno (sensi), lo stato interno del corpo (tronco encefalico) e l'elaborazione cognitiva superiore (corteccia).

Ippocampo

L'**ippocampo** è una struttura situata nel cuore del lobo temporale mediale (MTL), agendo come il motore principale per la creazione e il recupero delle memorie conscie.

Inserito nel contesto delle **strutture sottocorticali**, l'ippocampo non lavora isolatamente, ma opera come un "hub di hub" che coordina un vasto network di satelliti cerebrali per gestire l'esperienza umana.

1. Anatomia e Natura Evolutiva

- **Localizzazione:** Gli ippocampi sono due strutture a forma di anello allungato (uno per emisfero), nascoste profondamente all'interno dei lobi temporali.
- **Paleocorteccia:** A differenza della neocorteccia a sei strati, l'ippocampo è definito "paleocorteccia" o "vecchia corteccia" poiché possiede solo quattro o cinque strati cellulari.
- **Origine Ancestrale:** Fa parte dell'antico "cervello olfattivo" (corteccia rinale), il che spiega perché i segnali degli odori abbiano un accesso così diretto e potente ai sistemi della memoria.

2. Il Ruolo Centrale nella Memoria Episodica

L'ippocampo è il supporto neurale per la **memoria episodica** (o autobiografica), definita come la capacità di viaggiare mentalmente nel tempo per rivivere eventi passati.

- **Codifica e "Binding":** L'ippocampo riceve informazioni dalle aree sensoriali della neocorteccia e le "lega" (*binding*) in una traccia mnemonica unitaria che include suoni, immagini ed emozioni.
- **Recupero:** Quando viene presentato un indizio (cue), l'ippocampo riattiva l'intero pattern di attivazione

neocorticale originale, permettendo la ricostruzione cosciente del ricordo.

- **Mappe Spaziali:** È cruciale per la navigazione; contiene "cellule di luogo" (*place cells*) che mappano l'ambiente circostante, una funzione particolarmente sviluppata in chi deve memorizzare percorsi complessi (come i tassisti di Londra).

3. L'Ippocampo tra le Strutture Sottocorticali

Nel cuore del cervello, l'ippocampo interagisce costantemente con altri importanti centri:

- **Talamo:** Il talamo funge da relè sensoriale che invia i dati all'ippocampo. Durante il sonno profondo (SWS), i "fusi del sonno" talamici innescano le "onde appuntite" (*sharp waves*) ippocampali, facilitando il trasferimento dei ricordi verso la neocorteccia.
- **Amigdala:** Situata proprio sulla punta di ogni ippocampo, l'amigdala aggiunge un "valore emotivo" ai ricordi. Questa collaborazione permette di ricordare meglio gli eventi intensi (paura, gioia) rispetto a quelli neutri.
- **Gangli della Base:** Mentre l'ippocampo gestisce la memoria cosciente (fatti ed eventi), i gangli della base sono responsabili della **memoria procedurale** (abilità motorie e abitudini). Studi su pazienti amnesici mostrano che si

possono apprendere nuove abilità fisiche (grazie ai gangli della base) anche se l'ippocampo è distrutto e non si ha alcun ricordo cosciente di aver fatto pratica.

4. Consolidamento e Ritmi Cerebrali

L'ippocampo non è il luogo di stoccaggio finale dei ricordi, ma una stazione di transito.

- **Consolidamento dei Sistemi:** Attraverso un dialogo continuo con la neocorteccia, i ricordi vengono gradualmente trasferiti e resi permanenti nelle aree corticali; questo processo può richiedere giorni, mesi o anni.
- **Onde Theta (4-7 Hz):** Questo ritmo è il "linguaggio" di comunicazione tra l'ippocampo e la corteccia frontale durante il recupero delle memorie e il consolidamento.

5. Evidenze Cliniche: HM e Clive Wearing

La comprensione moderna di questa struttura deriva da casi tragici:

- **Paziente HM:** La rimozione chirurgica bilaterale degli ippocampi causò una densa amnesia anterograda: HM viveva in un eterno presente, incapace di formare nuovi ricordi di vita, pur mantenendo intatte l'intelligenza e la parola.

- **Clive Wearing:** La distruzione degli ippocampi a causa di un'infezione virale ha prodotto un effetto simile, dimostrando che senza questa struttura sottocorticale la vita perde il suo legame con il tempo e l'identità personale.

Stato di veglia

L'**ARAS** (Sistema Attivante Reticolare Ascendente), spesso integrato nel concetto più ampio di **ERTAS** (*Extended Reticular-Thalamic System*), è una rete fondamentale di nuclei situata nel tronco encefalico e nel talamo, indispensabile per il mantenimento dello **stato di veglia** e della coscienza.

1. Il "Motore" della Veglia e dell'Attivazione

L'ARAS agisce come il sistema di accensione del cervello. Mentre la corteccia cerebrale elabora i contenuti specifici della mente, l'ARAS fornisce il **livello di arousal (attivazione)** necessario affinché tali contenuti emergano.

- **Anatomia:** Si estende dal tronco encefalico verso l'alto, proiettando fibre a tutto il talamo e, da lì, a ogni area della corteccia.

- **Attivazione Globale:** Al risveglio, questo sistema attiva globalmente il cervello, portando a un traffico neurale più veloce e ampiamente connesso, visibile nell'EEG come onde rapide e di piccola ampiezza (beta e gamma).

2. L'ERTAS come "Lavagna Globale" (Blackboard)

L'ERTAS è una **"lavagna globale"** o un "sensorium commune" (riprendendo il concetto aristotelico di senso comune).

- **Convergenza e Divergenza:** Riceve input da tutti i sistemi sensoriali e motori, fungendo da area di **convergenza** dove i segnali vengono concentrati.
- **Broadcasting Globale:** Una volta che un segnale sensoriale prevale sugli altri, l'ERTAS lo amplifica e lo "trasmette" (*broadcast*) a tutto il resto della corteccia. Senza questo supporto dell'ERTAS, l'attività corticale rimarrebbe locale e non raggiungerebbe la soglia della consapevolezza conscia.

3. Ruolo dei Neuromodulatori ("Spritzers")

La funzione dell'ARAS nel regolare la veglia dipende criticamente da piccoli nuclei situati nel tronco encefalico e nel prosencefalo basale che rilasciano **neuromodulatori**.

- **Molecole Chiave:** Lo stato di veglia è letteralmente "acceso" dal rilascio simultaneo di **acetilcolina, noradrenalina, serotonina e dopamina**.
- **Funzioni Specifiche:** Ognuna di queste molecole abilita una capacità diversa: ad esempio, la noradrenalina mantiene un alto rapporto segnale-rumore nei sistemi sensoriali, mentre l'acetilcolina media l'attenzione e l'arousal conscio.

4. Il Ciclo tra Lobo Frontale e Tronco Encefalico

Esiste un legame bidirezionale cruciale tra le funzioni superiori e l'ARAS.

- **Controllo Top-Down:** La corteccia prefrontale (PFC) non riceve solo l'attivazione dall'ARAS, ma invia proiezioni discendenti verso i nuclei reticolari per **modulare il proprio livello di arousal** in base agli obiettivi e allo sforzo mentale richiesto dal compito.
- **Sindrome da Disconnessione Reticolo-Frontale:** Se queste vie di comunicazione vengono danneggiate (anche in assenza di lesioni corticali dirette), il paziente può mostrare sintomi frontali come apatia e perdita di iniziativa, perché il cervello ha perso il suo "amplificatore" centrale.

5. ARAS e Stati di Inconsci d'Origine Sottocorticale

L'importanza dell'ARAS emerge chiaramente quando il sistema è depresso o danneggiato.

- **Sonno e Coma:** Durante il sonno profondo (SWS) o il coma, l'attività dell'ARAS diminuisce, permettendo alla corteccia di entrare in una modalità di "buzz-pause" (onde lente), dove le interazioni neurali sono interrotte ogni pochi secondi, impedendo l'integrazione cosciente.
- **Idranencefalia:** Casi clinici mostrano che neonati nati quasi senza corteccia ma con il tronco encefalico (e quindi l'ARAS) intatto possono comunque mostrare cicli sonno-veglia e reazioni emotive di base, a dimostrazione che le strutture sottocorticali gestiscono le funzioni vitali di sopravvivenza e attivazione.

L'ARAS/ERTAS è l'**infrastruttura di supporto vitale** della coscienza, coordinando il flusso di energia chimica ed elettrica necessario affinché la corteccia possa generare l'esperienza del mondo.

Sviluppo

Fasi dello sviluppo

Neurogenesi

La **neurogenesi** (o proliferazione) è il processo fondamentale di nascita dei neuroni, che costituisce la prima fase critica dello sviluppo del sistema nervoso.

Questo evento trasforma il tubo neurale iniziale in una struttura iper-complessa, gettando le basi per l'architettura del cervello adulto.

1. La Fase Prenatale: Il "Repertorio Primario"

La neurogenesi avviene quasi interamente durante lo **sviluppo prenatale**. Gerald Edelman definisce questo periodo come la formazione del **repertorio primario**: decine di miliardi di neuroni "germogliano" e si moltiplicano mentre il feto cresce.

- **Zone Proliferative:** La stragrande maggioranza dei neuroni nasce in aree chiamate "zone proliferative", situate vicino al centro cavo del tubo neurale (che diventerà il sistema ventricolare).
- **Zona Ventricolare e Subventricolare:** Occorre distinguere tra la zona ventricolare, filogeneticamente più antica, e la **zona subventricolare**, che contribuisce in modo significativo alle strutture più recenti come la neocorteccia.
- **Clonazione e Neuroblasti:** All'interno di queste zone, la divisione cellulare produce "cloni" (gruppi di cellule da un unico precursore). I **neuroblasti** danno vita a un numero definito e limitato di neuroni specifici.

2. Il Modello dell'Unità Radiale (Rakic)

Un concetto cruciale è il **modello dell'unità radiale** proposto da Pasko Rakic, che spiega come la proliferazione determini le differenze tra le specie.

- **Determinazione della Grandezza:** Rakic sottolinea che il numero di "round" di divisione cellulare nella fase iniziale di formazione delle unità proliferative determina il numero di **colonne corticali** e, di conseguenza, l'area totale della superficie del cervello.
- **Differenze tra Specie:** Poiché la struttura laminare (a strati) della corteccia è simile tra i mammiferi, sono proprio

queste differenze nella quantità di divisioni cellulari a spiegare perché il cervello umano sia così massicciamente più grande di quello di altri animali.

3. Transizione alle Fasi Successive

La neurogenesi non è un processo isolato, ma si sovrappone e guida le fasi successive:

- **Migrazione:** Una volta nati, i giovani neuroni devono viaggiare verso le loro destinazioni finali, spesso seguendo le **fibre gliali radiali** in un pattern "inside-out" (dal centro verso l'esterno) per formare la corteccia.
- **Differenziazione:** Durante e dopo il viaggio, le cellule si differenziano in tipi specifici con funzioni distinte.
- **Picco alla Nascita:** Quando un bambino nasce, possiede **più cellule nervose di quante ne avrà mai** nel resto della sua vita. Questo accade perché lo sviluppo include una fase "regressiva" necessaria: il **pruning (potatura)**, in cui i neuroni che non stabiliscono connessioni funzionali o stabili vengono eliminati tramite morte cellulare programmata.

4. La Neurogenesi nell'Adulto

Sebbene la neurogenesi su larga scala si interrompa intorno alla nascita, si nota che **nuovi neuroni continuano a nascere** anche nel cervello adulto, sebbene in aree limitate.

- **Siti di neurogenesi adulta:** Le cellule staminali neurali continuano a produrre nuovi neuroni nell'**ippocampo** (nel giro dentato) e nella **superficie olfattiva**.
- **Funzione:** Questo ricambio cellulare continuo supporta la plasticità e la capacità del cervello di adattarsi a nuove esperienze e formare nuovi ricordi per tutta la vita.

La neurogenesi è la fase additiva che fornisce il "materiale grezzo" (i neuroni) seguendo principi di **Darwinismo Neurale**: le cellule vengono prodotte in eccesso e solo quelle che si integrano con successo nei circuiti funzionali sopravvivono alle fasi successive di selezione e pruning.

Migrazione e Differenziazione

Le fasi di **migrazione e differenziazione** rappresentano il passaggio critico che trasforma le cellule appena nate (neurogenesi) nell'architettura organizzata del cervello adulto.

Questi processi avvengono prevalentemente durante lo **sviluppo prenatale** e sono guidati da una combinazione di istruzioni genetiche e interazioni cellulari dinamiche.

1. La Migrazione Neurale: Due Modelli

Dopo che i giovani neuroni sono stati generati nelle zone proliferative (vicino ai ventricoli), essi devono viaggiare verso la loro destinazione finale. Le fonti distinguono due modalità principali:

- **Spostamento Passivo:** Le cellule più giovani spingono semplicemente quelle più vecchie lontano dalla zona proliferativa. Questo crea un pattern **"outside-to-inside"** (dall'esterno verso l'interno), tipico di strutture come il talamo e il tronco encefalico, dove le cellule più antiche si trovano in superficie.
- **Migrazione Attiva (Inside-Out):** Fondamentale per la **corteccia cerebrale**, questo processo vede i neuroni più giovani superare quelli nati in precedenza. I nuovi neuroni si arrampicano lungo le **fibre gliali radiali**, che fungono da "corde di risalita" che collegano il centro del tubo neurale alla superficie esterna.

2. Il Modello dell'Unità Radiale (Rakic)

Pasko Rakic ha proposto che l'organizzazione della corteccia dipenda da queste unità proliferative: i neuroni prodotti da una singola unità migrano lungo la stessa fibra gliale, andando a formare una specifica **colonna corticale**. Questo meccanismo spiega perché la struttura a strati della corteccia sia così simile tra i mammiferi, nonostante le enormi differenze nella superficie totale del cervello.

3. La Differenziazione: Acquisire Identità e Funzione

La differenziazione è il processo mediante il quale le cellule assumono la loro forma e funzione specifica.

- **Destino Cellulare:** I neuroblasti possono dare origine a tipi specifici di neuroni (come le cellule di Purkinje del cervelletto). L'ambiente attraversato durante la migrazione può influenzare il destino finale della cellula.
- **Cronologia della Corteccia:** La differenziazione dei vari strati corticali segue un ordine preciso:
    1. Formazione della **pre-placca** (cellule di Cajal-Retzius e sottoplacca).
    2. Nascita dei neuroni dei **livelli profondi (V e VI)**, che proietteranno i loro assoni a bersagli sottocorticali.

3. Formazione degli interneuroni locali del **IV strato**.
4. Nascita dei neuroni dei **livelli superiori (II e III)**, che connettono diverse aree della corteccia.

4. Il Ruolo di Geni e Ambiente (Epigenesi)

Nelle prime fasi, alcune molecole cambiano funzione per facilitare lo sviluppo: ad esempio, il neurotrasmettitore **GABA**, normalmente inibitorio nell'adulto, agisce come segnale **eccitatorio** per guidare la crescita degli assoni verso i loro bersagli.

Secondo il **Darwinismo Neurale** di Edelman, questa prima fase di migrazione e differenziazione crea un **repertorio primario** di circuiti diversi, che verranno poi selezionati e rifiniti dall'esperienza postnatale attraverso la sinaptogenesi e il pruning (potatura).

La migrazione e la differenziazione sono le "fasi di costruzione" che stabiliscono la mappa fondamentale del cervello, permettendo a miliardi di cellule di posizionarsi e specializzarsi per supportare le future funzioni cognitive.

Sinaptogenesi

La **sinaptogenesi** è il processo di creazione di nuove sinapsi (connessioni tra neuroni), rappresentando la fase additiva principale dello sviluppo cerebrale **postnatale**.

Mentre la nascita dei neuroni (neurogenesi) avviene quasi interamente prima della nascita, la sinaptogenesi trasforma il cervello del neonato in un organo iper-connesso attraverso un'esplosione di connettività che contribuisce a quadruplicare il volume cerebrale entro l'età adulta.

1. Il "Secondo Repertorio" di Edelman

Gerald Edelman inserisce la sinaptogenesi all'interno della sua teoria del **Darwinismo Neurale**.

- **Primo Repertorio:** Riguarda la neurogenesi e la migrazione prenatale che creano l'architettura di base.
- **Secondo Repertorio (Connessionale):** Inizia intorno al terzo trimestre di gravidanza e accelera dopo la nascita. In questa fase, i neuroni emettono assoni e dendriti che "germogliano" in trilioni di nuove connessioni sinaptiche.

2. Cronologia e Differenze Regionali

La sinaptogenesi non avviene simultaneamente in tutto il cervello, ma segue un calendario specifico per ogni area:

- **Aree Sensoriali (Corteccia Visiva):** La sinaptogenesi è estremamente rapida tra i 3 e i 4 mesi di vita, raggiungendo un picco di densità tra i **4 e i 12 mesi**.
- **Corteccia Prefrontale (PFC):** Sebbene inizi nello stesso periodo delle aree sensoriali, la densità dei contatti cresce molto più lentamente, raggiungendo il suo picco massimo **ben dopo il primo anno di vita**.

3. Selezione ed Esperienza (Apprendimento Hebbiano)

La sinaptogenesi è un processo **dipendente dall'esperienza** e segue i principi della selezione darwiniana:

- **Sovrapproduzione:** Il cervello produce inizialmente un numero eccessivo di sinapsi, creando una sorta di "bozza" iper-complessa.
- **Regola di Hebb:** Le connessioni che vengono attivate frequentemente dall'ambiente e dall'apprendimento ("neuroni che scaricano insieme, si legano insieme") vengono rinforzate e stabilizzate tramite la sintesi proteica.

4. La Fase Regressiva: Il Pruning (Potatura)

La sinaptogenesi è inseparabile dal suo complemento regressivo: il **pruning sinaptico**. Le sinapsi instabili o non utilizzate vengono eliminate per affinare i circuiti neurali e renderli più efficienti.

- Nella corteccia visiva, il pruning riporta la densità sinaptica ai livelli adulti verso i 2 anni di età.
- Nelle regioni prefrontali, questo processo di rifinitura e specializzazione continua molto più a lungo, protraendosi fino all'**adolescenza**.

5. Posizionamento nel Ciclo di Sviluppo

Il percorso di costruzione del cervello è sintetizzato attraverso questa sequenza logica:

1. **Proliferazione (Neurogenesi):** Moltiplicazione cellulare prenatale.
2. **Migrazione e Differenziazione:** Viaggio dei neuroni e acquisizione della loro identità.
3. **Guida Assonale:** Gli assoni raggiungono i loro bersagli.
4. **Sinaptogenesi:** Formazione massiccia di connessioni (fase additiva).
5. **Pruning e Formazione di Network:** Selezione delle connessioni funzionali e stabilizzazione dei circuiti finali.

La sinaptogenesi rappresenta il passaggio dalla "biologia rigida" dei geni alla **plasticità guidata dall'esperienza** (ambiente), permettendo al cervello di modellare la propria connettività in risposta alle sfide del mondo esterno.

Pruning (Potatura)

Il **pruning** (o potatura sinaptica) è un evento **regressivo** che, paradossalmente, permette la maturazione e l'efficienza del cervello. Esso non rappresenta un decadimento, ma un raffinamento necessario: dopo un'esplosione iniziale di connettività, il cervello "poterebbe" i rami improduttivi per stabilizzare i circuiti più efficaci.

1. Il Ciclo "Rise and Fall" (Ascesa e Caduta)

Lo sviluppo postnatale segue un pattern di crescita seguito da una riduzione selettiva.

- **Sovrapproduzione:** Durante la **sinaptogenesi**, il cervello produce un numero di sinapsi molto superiore a quello necessario (in alcune aree fino al 150% dei livelli degli adulti).

- **Selezione:** Il pruning interviene per eliminare le sinapsi instabili, ridondanti o inutilizzate, riportando la densità sinaptica ai livelli fisiologici dell'adulto. Questo processo trasforma un network diffuso e "rumoroso" in uno **focale e specializzato**.

2. Meccanismo: Darwinismo Neurale e Regola di Hebb

Il pruning è guidato da principi **selezionisti** definiti da Gerald Edelman come **Darwinismo Neurale**.

- **Sopravvivenza del più adatto:** Le connessioni che vengono attivate frequentemente dall'esperienza si rinforzano (secondo la regola di Hebb: "neuroni che scaricano insieme, si legano insieme"), mentre quelle inattive appassiscono e vengono eliminate.
- **Efficienza energetica:** Poiché il firing neuronale richiede molta energia metabolica, eliminare le connessioni non necessarie rende il sistema molto più efficiente.

3. Differenze Regionali e Cronologia

Il pruning non avviene contemporaneamente in tutto il cervello, riflettendo la gerarchia delle funzioni cognitive.

- **Corteccia Visiva:** Il processo è precoce; la densità sinaptica torna ai livelli adulti verso i **2 anni di età**.

- **Corteccia Prefrontale (PFC):** Poiché gestisce le funzioni esecutive superiori, il pruning in quest'area è estremamente protratto, continuando per tutta l'infanzia e raggiungendo il completamento solo durante l'**adolescenza**.

4. Pruning, Plasticità e Patologia

Il pruning è strettamente legato alla **plasticità cerebrale**: l'eccesso iniziale di sinapsi fornisce al bambino la capacità di adattarsi a qualsiasi ambiente o linguaggio.

- **Importanza dell'esperienza:** Poiché il pruning è guidato dall'input ambientale, la mancanza di stimoli (o stimoli negativi) può alterare questo processo.
- **Evidenze cliniche:** Anomalie nel pruning sono associate a diversi disturbi. Ad esempio, i bambini con **Sindrome Feto-Alcolica (FAS)** mostrano una densità di materia grigia anormale, segno di un fallimento nel normale processo di potatura delle connessioni.

Di fatto il pruning è la fase di **"scultura" del cervello**. Se la sinaptogenesi fornisce la pietra grezza, il pruning elimina il materiale in eccesso per rivelare la struttura definitiva dei circuiti neurali che supporteranno il comportamento adulto.

Interazione geni ambiente

La controversia tra "natura e cultura" (*nature vs. nurture*) non è più considerata un dibattito divisivo, poiché la maggior parte degli scienziati vede il comportamento umano come una combinazione indissolubile di **biologia, cultura e ambiente**.

L'interazione tra geni e ambiente viene oggi inquadrata nel concetto di **epigenesi**, definendo il cervello come un organo dinamico e in continua evoluzione.

1. Epigenesi Probabilistica e Bidirezionalità

Il modello prevalente è quello dell'**epigenesi probabilistica**, che vede le interazioni tra geni, strutture cerebrali e funzioni come **bidirezionali**.

- **Influenza dei Geni:** I geni forniscono il "progetto" iniziale, guidando la neurogenesi e la formazione del repertorio primario di circuiti.
- **Influenza dell'Ambiente:** Gli stimoli sensoriali e l'esperienza possono a loro volta cambiare i pattern di **espressione genica**. Ad esempio, l'attenzione precoce dei neonati verso i volti modella i circuiti visivi per specializzarli

nel riconoscimento facciale attraverso la differenziazione genetica.

2. Sviluppo Prenatale e Vulnerabilità Ambientale

L'interazione geni-ambiente inizia molto prima della nascita. Il programma genetico di sviluppo può essere alterato da fattori ambientali negativi chiamati **teratogeni**.

- **Alcol e fumo:** L'abuso di alcol in gravidanza causa la **Sindrome Feto-Alcolica (FAS)**, che altera permanentemente la densità della materia grigia e i processi di *pruning* (potatura) nelle aree frontali e temporali.
- **Esperienze positive:** Già nel terzo trimestre, il feto è influenzato dall'ambiente uditivo, arrivando a mostrare una preferenza postnatale per la voce materna.

3. Darwinismo Neurale e Selezione Esperienziale

Gerald Edelman propone che il cervello sia un organo **selectionist** (selezionista), non istruzionista come un computer.

Come già anticipato:

- **Repertorio Primario:** I geni guidano la divisione e migrazione cellulare per creare una bozza diversificata di circuiti.
- **Repertorio Secondario:** Dopo la nascita, l'esperienza seleziona le connessioni più efficaci. Le sinapsi che

"scaricano insieme" si rinforzano (regola di Hebb), mentre quelle inutilizzate vengono eliminate tramite il **pruning**. Questo processo di "scultura" neurale è guidato dal valore (piacere, dolore, salienza emotiva) fornito dall'ambiente.

4. Meccanismi Molecolari della Plasticità

L'ambiente agisce fisicamente sul DNA attraverso processi **epigenetici** che accendono o spengono segmenti di codice genetico.

- **Rimodellamento della Cromatina:** Agenti esterni o esperienze possono causare l'avvolgimento o lo svolgimento del DNA attorno agli istoni, attivando o silenziando i geni.
- **Cura Materna:** In modelli animali, il contatto fisico (tocco e leccamento) della madre favorisce lo svolgimento dei trefoli di DNA neuronale, permettendo la trascrizione genica necessaria allo sviluppo sano; la carenza di cure, al contrario, mantiene il DNA "silenziato".

5. Plasticità nel Ciclo di Vita

La plasticità non è limitata all'infanzia ma continua nell'adulto, sebbene in forme diverse.

- **Apprendimento e Struttura:** Imparare nuove abilità motorie (come il giocoliere) provoca cambiamenti misurabili

sia nella densità della materia grigia che nell'architettura dei tratti di materia bianca.

- **Neurogenesi Adulta:** Anche nel cervello maturo, l'ambiente può stimolare la nascita di nuovi neuroni da cellule staminali, specialmente nell'**ippocampo**, per supportare l'adattamento a nuove esperienze.
- **Imaging Genetics:** Studi recenti collegano specifiche varianti genetiche (come quelle del trasportatore della serotonina) a differenze individuali nella reattività dell'amigdala e nella gestione di ansia e rabbia, dimostrando come la biologia molecolare filtri la nostra risposta all'ambiente.

Sviluppo e plasticità sono il risultato di un dialogo costante dove i geni preparano il terreno (preparazione biologica) e l'ambiente modella le connessioni definitive attraverso l'esperienza e l'apprendimento.

Adolescenza

Durante l'**adolescenza**, si ha uno **sviluppo protratto** dell'essere umano normalmente descritto come un periodo critico in cui il cervello subisce trasformazioni anatomiche e funzionali profonde per raggiungere la maturità sociale e cognitiva.

Mentre la maggior parte delle strutture cerebrali si stabilizza precocemente, i lobi frontali e le loro connessioni continuano a evolversi ben oltre l'infanzia.

1. La Maturazione Tardiva dei Lobi Frontali

Il lobo frontale, e in particolare la **corteccia prefrontale (PFC)**, è l'area del cervello con il periodo di sviluppo postnatale più lungo.

- **Mielinizzazione:** Questo processo, che aumenta l'efficienza della trasmissione elettrica, prosegue attraverso l'adolescenza fino all'età adulta, specialmente nelle regioni frontali. La piena maturazione delle vie che connettono la PFC al resto del cervello è stimata intorno ai **18 anni**.
- **Pruning (Potatura) Sinaptica:** Mentre nella corteccia visiva la densità sinaptica torna ai livelli adulti verso i 2 anni,

nelle regioni della PFC questo traguardo non viene raggiunto prima dell'**adolescenza**.

- **Densità della Materia Grigia:** Studi mostrano che nel **solco frontale superiore** la densità della materia grigia diminuisce rapidamente proprio a partire dall'adolescenza, segno del raffinamento dei circuiti neurali.

2. Sviluppo delle Funzioni Esecutive e Sociali

Il calendario protratto dello sviluppo cerebrale rispecchia l'acquisizione graduale di abilità complesse:

- **Controllo Cognitivo:** Le capacità di inibire risposte impulsive e di gestire compiti di controllo cognitivo non raggiungono livelli simili a quelli adulti fino alla **tarda adolescenza**.
- **Maturità Sociale e Morale:** La capacità di esercitare un controllo volitivo sulle proprie azioni e di comprendere appieno le norme morali emerge gradualmente ed è legata all'integrità funzionale dei lobi frontali.
- **Percezione delle Emozioni:** Anche la capacità di interpretare correttamente informazioni emotive complesse nei volti umani è un processo lento che non è del tutto completato nemmeno a **15 anni**.

3. "Juvenilization" ed Evoluzione

Da un punto di vista evolutivo, lo sviluppo protratto è descritto come una strategia vincente:

- **Vantaggio della Plasticità:** Un calendario di sviluppo esteso (circa quattro volte più lungo rispetto ai primati non umani) offre al cervello umano molte più opportunità di essere **plasmato dall'esperienza** e dalle interazioni sociali.
- **Juvenilization (Giuvenilizzazione):** Questo concetto antropologico suggerisce che l'espansione dell'infanzia e dell'adolescenza abbia permesso alla specie umana di diventare più "gracile" e meno impulsiva, favorendo l'attaccamento sociale e l'apprendimento culturale.

4. Implicazioni Legali e Sociali

La coincidenza tra il riconoscimento legale della **maturità sociale (18 anni)** e il completamento della mielinizzazione dei lobi frontali non è casuale. La società riconosce implicitamente che solo a quell'età un individuo possiede il substrato biologico necessario per un adeguato controllo degli impulsi e dei desideri.

5. Cambiamenti nelle Strutture Sottocorticali

L'adolescenza non riguarda solo la corteccia. Strutture come il **talamo** e il **nucleus accumbens** (coinvolto nei circuiti della ricompensa) mostrano una "perdita precipitosa di volume" durante

l'adolescenza e verso la prima età adulta, indicando un massiccio rimodellamento dei circuiti subcorticali durante questo periodo.

In definitiva l'adolescenza è la fase finale e cruciale di una **"scultura neurale"** che trasforma un sistema diffuso e immaturo in un network focale, specializzato e capace di supportare le complesse richieste della civiltà umana.

Memoria ed Apprendimento

Memoria di lavoro

Centrale di esecuzione

La **Centrale di Esecuzione** è la componente di controllo della **Memoria di Lavoro che opera** come supervisore delle attività volontarie.

All'interno del quadro funzionale della mente, esso agisce come un "coordinatore" che gestisce le risorse cognitive limitate per scopi complessi come la risoluzione di problemi, il linguaggio e il pensiero.

1. La metafora del "CEO" e il controllo volontario

La sua funzione viene spesso descritta attraverso la metafora del **Chief Executive Officer (CEO)** di un'organizzazione. Proprio come un dirigente, questo sistema:

- **Stabilisce obiettivi** e pianifica le azioni per raggiungerli.
- **Organizza le attività** decidendo quando iniziare, interrompere o modificare un compito.
- **Esercita un controllo di supervisione** su tutte le attività volontarie, garantendo che il comportamento sia flessibile, adattivo e orientato al futuro.

2. Basi Neuroanatomiche: La Corteccia Prefrontale

La sua sede principale risiede nella **corteccia prefrontale (PFC)**, la parte più anteriore dei lobi frontali. Le fonti identificano aree specifiche coinvolte in diversi aspetti del controllo esecutivo:

- **Corteccia Prefrontale Dorsolaterale (DL-PFC):** È cruciale per il mantenimento degli obiettivi, la manipolazione delle informazioni e la gestione del carico di memoria. È attiva in compiti complessi come la risoluzione del puzzle della "Torre di Hanoi".
- **Corteccia Cingolata Anteriore (ACC):** È coinvolta nel **monitoraggio dei conflitti** e nel rilevamento degli errori. Si attiva quando è necessario risolvere interferenze tra tendenze opposte, come nel compito di Stroop[6].

6 Il compito di Stroop è un noto test di psicologia cognitiva e neuropsicologia che misura l'attenzione selettiva e il controllo inibitorio. Consiste nel pronunciare ad alta voce il colore dell'inchiostro con cui è scritta una parola, ignorando il suo significato semantico (es. dire "rosso" se la parola "verde" è scritta in rosso).

- **Connettività:** La PFC è definita dalla sua eccezionale connettività con quasi tutte le altre unità funzionali del cervello, agendo come un "hub" che integra informazioni sensoriali, motorie ed emotive.

3. Funzioni chiave nel contesto della Memoria di Lavoro

La centrale di esecuzione non si limita a conservare passivamente le informazioni (compito affidato al *working storage*), ma esegue un "lavoro mentale" attivo:

- **Attenzione Selettiva:** Dirige l'attenzione volontaria verso stimoli rilevanti, ignorando le distrazioni. È stato proposto che la memoria di lavoro sia essenzialmente un sistema di attenzione volontaria rivolto verso l'interno.
- **Coordinamento dei "Sensi Interni":** Gestisce i sottosistemi di mantenimento, ovvero il **rehearsal verbale** (linguaggio interno) e il **taccuino visuo-spaziale** (immagini mentali).
- **Metacognizione:** Permette di monitorare i propri processi di pensiero e la qualità della propria memoria, una funzione essenziale per lo studio e l'apprendimento.
- **Inibizione:** È necessario per sopprimere impulsi indesiderati o abitudini automatiche non più funzionali al raggiungimento di un obiettivo.

4. Prove Sperimentali e Carico Cognitivo

La sua efficienza viene misurata attraverso compiti che richiedono sforzo mentale:

- **Compito n-back:** Mostra che l'attività nella corteccia prefrontale aumenta drammaticamente con l'aumentare del numero di elementi da tenere a mente.
- **Effetto Stroop:** Dimostra lo sforzo esecutivo necessario per contrastare l'abitudine automatica di leggere una parola quando il compito richiede invece di nominarne il colore del carattere.
- **Pratica e Automaticità:** Man mano che un compito diventa familiare e automatico attraverso la pratica, l'attività corticale esecutiva diminuisce, poiché il controllo viene delegato a regioni sottocorticali come i gangli della base e il cervelletto.

In definitiva la centrale di esecuzione è il motore "intelligente" della memoria di lavoro, responsabile di trasformare la percezione e il ricordo in **azione intenzionale e pianificata**.

Taccuino Visuo-Spaziale

Il **taccuino visuo-spaziale** è uno dei due "sensi interni" fondamentali della **Memoria di Lavoro** (insieme alla ripetizione verbale), responsabile del mantenimento e della manipolazione temporanea delle informazioni visive e spaziali.

1. Funzioni principali

- **Mantenimento temporaneo:** Permette di trattenere per pochi secondi informazioni come la posizione di un'auto parcheggiata, il percorso per tornare a casa o la forma di un oggetto appena visto.
- **Immagini mentali (Visual Imagery):** È la sede dell' "occhio della mente". La sua esistenza è facilmente dimostrabile chiedendo a qualcuno di visualizzare la porta di casa propria e indicare da quale lato si trovi la maniglia; quasi tutti riescono a "vedere" l'immagine mentalmente.
- **Integrazione cross-modale:** Non riceve solo input visivi, ma gestisce informazioni spaziali astratte che possono derivare anche dal tatto (identificare un oggetto toccandolo ad occhi chiusi) o dall'udito (localizzare la fonte di un suono).

2. Basi Neuroanatomiche

Il taccuino visuo-spaziale non è localizzato in una singola area, ma coinvolge una rete distribuita:

- **Corteccia Occipitale e Temporale:** Utilizzate per le componenti puramente visive (forma, colore, identità degli oggetti).
- **Corteccia Parietale:** Cruciale per la componente spaziale (il cosiddetto stream del "dove") e per l'integrazione tra diversi sensi.
- **Corteccia Prefrontale (PFC):** In particolare i **campi oculari frontali (FEF)** e la PFC posteriore sono coinvolti nel controllo volontario e nel mantenimento dell'attenzione sulle rappresentazioni spaziali interne.

3. Evidenze Sperimentali e Dissociazioni

Le fonti evidenziano come questo sistema sia indipendente dalla componente verbale:

- **Compiti di rotazione mentale:** Richiedono l'uso attivo del taccuino visuo-spaziale per ruotare mentalmente oggetti 3D e confrontarli.
- **Il caso del paziente KF:** Questo paziente presentava una memoria a breve termine verbale gravemente compromessa (poteva ricordare solo 1-2 cifre parlate), ma la sua capacità di ricordare informazioni presentate

visivamente era molto migliore, dimostrando che il taccuino visuo-spaziale può operare anche quando il "ciclo fonologico" è danneggiato.

- **Interferenza:** Le attività verbali (come ripetere una parola) disturbano poco il taccuino visuo-spaziale, mentre compiti spaziali (come seguire un punto in movimento su uno schermo) ne riducono drasticamente l'efficienza.

4. Relazione con l'Esecutivo Centrale e la Memoria a Lungo Termine

All'interno del quadro funzionale della mente, il taccuino visuo-spaziale è sotto la supervisione della **Centrale di Esecuzione**, che decide quali informazioni visive mantenere o manipolare in base agli obiettivi attuali. Inoltre, interagisce costantemente con la **memoria a lungo termine**, attingendo alle conoscenze visive e spaziali già acquisite per dare significato a ciò che viene trattenuto temporaneamente.

Loop-Fonologico

Il **loop fonologico** (o ciclo fonologico) è descritto nelle fonti come uno dei due "sensi interni" fondamentali della **Memoria di Lavoro** (insieme al taccuino visuo-spaziale), specializzato nel

mantenimento e nella manipolazione temporanea delle informazioni basate sul linguaggio.

1. Definizione e Meccanismo: Il Linguaggio Interno

Il loop fonologico è essenzialmente un sistema di **ripetizione verbale** (*verbal rehearsal*) o **linguaggio interno** (*inner speech*). Le fonti lo descrivono come una sorta di simulazione interna del linguaggio parlato:

- **Funzionamento:** Gli esseri umani passano gran parte del tempo "parlando a se stessi" internamente per mantenere attive le informazioni. Questo processo utilizza le stesse capacità del cervello dedicate al linguaggio parlato, ma con il tratto vocale inibito per evitare l'espressione ad alta voce.
- **Similitudine con il parlato reale:** Errori come gli "scioglilingua interni" suggeriscono che il loop fonologico utilizzi lo stesso tessuto cerebrale della pratica fisica.

2. Capacità Limitata e "Il Numero Magico"

Il ruolo della ripetizione verbale è cruciale per determinare quanto possiamo ricordare nell'immediato:

- **Capacità estesa:** Quando è permesso l'uso della ripetizione mentale, la capacità della memoria immediata è di circa **sette (più o meno due) elementi**.
- **Soppressione articolatoria:** Se ai soggetti viene impedito di usare il loop fonologico (ad esempio, chiedendo loro di ripetere una parola senza senso come "the... the... the"), la capacità della memoria cade drasticamente a circa **quattro elementi**. Questo dimostra che il loop fonologico è uno strumento essenziale per "estendere" i limiti naturali della nostra attenzione focale.

3. Basi Neuroanatomiche

Il loop fonologico non risiede in un'unica area, ma coinvolge una rete prevalentemente lateralizzata a sinistra:

- **Area di Broca (Giro Frontale Inferiore Sinistro - L-IFG):** Coinvolta nella pianificazione del linguaggio e nella produzione della ripetizione interna.
- **Area di Wernicke e Giunzione Temporo-Parietale:** Cruciali per la percezione del linguaggio e il mantenimento della traccia fonologica.
- **Giro Supramarginale:** Specificamente associato alla componente di stoccaggio del loop fonologico.
- **Corteccia Prefrontale Ventrolaterale (VL-PFC):** Attiva durante il mantenimento del materiale verbale.

4. Prove Sperimentali e Dissociazioni

Le fonti evidenziano l'indipendenza di questo sistema attraverso casi clinici e test di interferenza:

- **Il Caso del Paziente KF:** A differenza di Clive Wearing o HM (che avevano problemi di memoria a lungo termine), il paziente KF presentava una **memoria a breve termine verbale gravemente compromessa** (poteva ricordare solo 1-2 cifre parlate), ma una memoria a lungo termine intatta e una capacità visuo-spaziale normale. Ciò prova che il loop fonologico può essere danneggiato in modo selettivo lasciando intatti gli altri sistemi.
- **Compiti Duali:** Compiti verbali ripetitivi disturbano la memoria per le parole ma hanno un effetto minimo sulla memoria visuo-spaziale, confermando che i due sistemi operano su binari separati.

5. Ruolo nei Processi Cognitivi Complessi

Il loop fonologico non serve solo a ricordare numeri di telefono, ma è fondamentale per:

- **Acquisizione del linguaggio:** Aiuta i bambini e gli adulti a segmentare e imparare nuove parole e regole grammaticali.

- **Aritmetica Mentale:** Compiti come la sottrazione o il calcolo mentale attivano pesantemente le aree del loop fonologico.
- **Comprensione della lettura:** Permette di mantenere l'inizio di una frase nella mente abbastanza a lungo da comprenderne la fine.

In sintesi, il loop fonologico è un'estensione specializzata del sistema linguistico che la memoria di lavoro utilizza come "stoccaggio temporaneo" per manipolare i concetti durante il pensiero e la risoluzione di problemi: leggete Proust.

Memoria a lungo termine

Esplicita (Cosciente)

Episodica (eventi)

La **memoria episodica** è una componente della **cognizione esplicita (o cosciente)**, definita dal suo legame intrinseco con l'esperienza soggettiva e la capacità di riportare accuratamente eventi passati.

All'interno del quadro funzionale della mente, essa rappresenta il "diario" degli eventi personali, distinguendosi dalla memoria semantica (fatti) per la sua natura contestuale e autobiografica.

1. La Memoria Episodica come Cognizione Esplicita

Nelle neuroscienze cognitive, i termini "esplicito" e "cosciente" sono spesso usati come sinonimi, poiché entrambi si riferiscono a contenuti mentali che il soggetto può descrivere o dichiarare.

- **Definizione:** La memoria episodica è l'archiviazione di **episodi coscienti** della vita passata.
- **Viaggio Mentale nel Tempo:** Lo psicologo Endel Tulving descrive la memoria episodica come un "**viaggio mentale nel tempo**", che permette non solo di accedere a un'informazione, ma di re-esperire consapevolmente l'evento nel suo contesto originale.
- **Coscienza Autonoetica:** Questo tipo di memoria è caratterizzato dalla **coscienza autonoetica**, ovvero la consapevolezza di sé come entità che ha vissuto l'evento, a differenza della coscienza "noetica" legata alla semplice conoscenza di un fatto (memoria semantica).

2. Caratteristiche distintive degli Eventi Episodici

Rispetto ad altre forme di cognizione, la memoria per gli eventi ha proprietà uniche che la rendono "esplicita":

- **Riferimento al Sé:** Gli eventi sono sempre collegati alla prospettiva personale.
- **Dipendenza dal Contesto:** Ogni ricordo episodico è ancorato a un **tempo e uno spazio specifici** e a relazioni particolari con altre persone.
- **Rievocazione vs. Familiarità:** La rievocazione episodica ("remembering") comporta una ricostruzione attiva dell'esperienza cosciente originale, producendo

un'attivazione cerebrale molto più elevata rispetto al semplice senso di familiarità ("knowing").

3. Basi Neuroanatomiche e il Ruolo del Lobo Temporale Mediale (MTL)

Il sistema critico per trasformare le esperienze coscienti in ricordi duraturi è il **lobo temporale mediale (MTL)**, che include l'ippocampo.

- **Codifica:** L'input sensoriale viene inizialmente rappresentato nella neocorteccia e poi integrato dall'ippocampo, che funge da "indice" o puntatore per legare insieme i diversi frammenti dell'esperienza cosciente.
- **Recupero:** Quando recuperiamo un ricordo episodico attraverso un indizio ("cue"), l'MTL riattiva l'intero insieme neocorticale associato, riportando alla mente l'esperienza cosciente originale.
- **Ruolo della Corteccia Prefrontale (PFC):** Sebbene l'ippocampo sia il motore della memoria, la PFC esercita un controllo esecutivo, aiutando a organizzare, monitorare e cercare strategicamente i ricordi.

4. Evidenze Cliniche: La Dissociazione tra Esplicito e Implicito

I casi dei pazienti **HM** e **Clive Wearing** sono fondamentali per comprendere che la memoria per gli eventi è un sistema distinto e separabile.

- Entrambi hanno subito danni bilaterali all'MTL, perdendo la capacità di formare nuovi ricordi episodici espliciti (amnesia anterograda).
- Nonostante non potessero ricordare cosa avessero mangiato a colazione o il nome di un nuovo interlocutore, le loro **capacità implicite** (come suonare il piano o imparare abilità motorie) rimanevano intatte.
- Ciò dimostra che si può apprendere senza coscienza (implicito), ma che la memoria episodica è il pilastro della nostra **identità cosciente e continuità temporale**.

5. Il ruolo dell'Attenzione e del Consolidamento

Perché un evento diventi un ricordo episodico esplicito, è solitamente necessaria l'**attenzione selettiva**.

- Prestare attenzione a nuove informazioni le rende coscienti, permettendo all'MTL di iniziare il processo di memorizzazione.
- Durante il sonno, specialmente nelle fasi di onde lente (SWS), il cervello "riproduce" i modelli di attivazione ippocampale degli episodi vissuti durante il giorno per consolidarli nella neocorteccia.

La memoria episodica permette alla coscienza di estendersi oltre il presente, costruendo un senso del sé basato sulla rievocazione fedele e personale del passato.

Semantica (Fatti)

La **memoria semantica** è la componente della **cognizione esplicita (o cosciente)** che riguarda la conoscenza di fatti sul mondo, su se stessi e saperi condivisi con una comunità.

Insieme alla memoria episodica, forma la categoria della memoria dichiarativa.

1. La Natura Cosciente della Conoscenza Semantica

Nonostante non implichi il "viaggio mentale nel tempo" tipico dei ricordi episodici, la memoria semantica è considerata **esplicita e cosciente**:

- **Definizione Operativa:** È classificata come cosciente perché le persone possono **riportare accuratamente** i fatti in cui credono.
- **Coscienza Noetica:** Lo psicologo Endel Tulving definisce la consapevolezza legata alla memoria semantica come **coscienza noetica**. Questa si manifesta come un **"sentimento di conoscenza"** (*feeling of knowing*) piuttosto che come una rievocazione dettagliata dell'evento originale in cui l'informazione è stata appresa.

- **Indipendenza dal Contesto:** A differenza della memoria episodica, quella semantica è **indipendente dal contesto** spaziale e temporale; sappiamo che "Parigi è la capitale della Francia" senza dover ricordare necessariamente quando o dove lo abbiamo imparato.

2. Basi Neuroanatomiche e Reti Distribuite

La memoria semantica non risiede in un singolo "archivio", ma coinvolge vaste reti neocorticali:

- **Lobo Temporale:** Le porzioni medie e laterali del lobo temporale sono cruciali per le rappresentazioni concettuali. I concetti più generici sembrano essere codificati nelle aree posteriori del lobo temporale sinistro.
- **Corteccia Prefrontale (PFC):** La PFC è coinvolta nel **sistema di memoria di lavoro semantica** (vicino all'area di Broca) e nel recupero strategico delle informazioni lessicali e semantiche.
- **Organizzazione per Funzioni:** I concetti sembrano organizzati in base alle loro proprietà sensoriali e motorie; ad esempio, le parole che indicano azioni (come "calciare") attivano aree vicine alla corteccia motoria.
- **Neocorteccia vs MTL:** Mentre l'ippocampo (MTL) è essenziale per formare nuovi ricordi, la **neocorteccia** è

ritenuta sufficiente per conservare e rappresentare le conoscenze semantiche una volta consolidate.

3. Relazione tra Episodico e Semantico

I due sistemi sono strettamente interconnessi:

- **Trasformazione nel tempo:** Molte memorie semantiche nascono da episodi ripetuti che, col tempo, vengono "sfocati" o integrati in una conoscenza generale astratta.
- **Integrazione:** Nella vita quotidiana, i due sistemi collaborano; ad esempio, riconosciamo più facilmente il volto di una celebrità (semantico) se possediamo anche ricordi episodici legati a quel nome.

4. Evidenze Cliniche e Dissociazioni

Lo studio di patologie specifiche ha permesso di isolare il sistema semantico:

- **Amnesia Organica (es. Paziente HM):** In casi di danno bilaterale ai lobi temporali mediali, i pazienti perdono la capacità di apprendere nuovi fatti (apprendimento semantico), ma mantengono intatta la **conoscenza semantica acquisita prima del danno**. Possono quindi sostenere conversazioni normali usando la loro conoscenza del mondo.

- **Demenza Semantica:** Questa condizione (spesso legata all'Alzheimer) colpisce specificamente la comprensione dei significati a causa della degenerazione dei lobi temporali anteriori e laterali. I pazienti possono ricordare eventi recenti (episodico) ma non capire più il significato o il nome di oggetti comuni come un "vaso".

5. Funzione Cognitiva: Il "Chunking"

Dal punto di vista della Memoria di Lavoro, le parole e i concetti semantici servono come strumenti di **chunking** (raggruppamento). Poiché la nostra capacità di attenzione focale è limitata a circa quattro elementi, l'uso di etichette semantiche apprese (parole) ci permette di manipolare idee complesse come singole unità, ottimizzando le risorse cognitive.

Implicita (inconscia)

Abitudini

Le **abitudini e le skill motorie** (o abilità motorie) sono i componenti fondamentali della **memoria procedurale**, la quale fa parte del sistema più ampio della **cognizione implicita o inconscia**. Questo sistema permette di acquisire e utilizzare conoscenze complesse senza che vi sia una consapevolezza cosciente del ricordo stesso.

1. Definizione e Meccanismo: L'Automaticità

Le skill motorie e le abitudini si riferiscono a routine apprese che, attraverso la pratica ripetuta, diventano **automatiche**.

- **Perdita di accesso cosciente:** Man mano che una competenza viene perfezionata (come andare in bicicletta o digitare su una tastiera), i dettagli dell'azione sfumano dalla coscienza. Ad esempio, un ciclista esperto non pensa consciamente a come girare il manubrio per bilanciarsi; l'azione è guidata da una conoscenza implicita che può persino essere in conflitto con la sua conoscenza esplicita.
- **Efficienza cognitiva:** L'automaticità riduce il "carico cognitivo" e lo sforzo esecutivo, permettendo al cervello di eseguire compiti complessi con un dispendio minimo di risorse corticali.

2. Basi Neuroanatomiche: Il Ruolo delle Strutture Sottocorticali

Il passaggio dalla fase di acquisizione (cosciente) a quella di esecuzione (automatica) riflette un cambiamento fisico nel cervello:

- **Gangli della Base:** Sono le strutture principali responsabili della formazione e del mantenimento delle abitudini motorie e delle skill procedurali.
- **Cervelletto:** È cruciale per la precisione e il coordinamento dei movimenti motori fini, come quelli necessari a un musicista o a un dattilografo.
- **Riduzione dell'attività corticale:** Le scansioni fMRI mostrano che, quando un compito diventa automatico, l'attività nella **corteccia prefrontale (PFC)** diminuisce drasticamente, poiché il controllo viene delegato ai sistemi sottocorticali.

3. Apprendimento Implicito e Input Cosciente

L'apprendimento implicito non significa necessariamente imparare senza coscienza:

- **Input cosciente, risultato inconscio:** Spesso l'apprendimento di una skill motoria (come nello sport o nella danza) richiede attenzione e istruzioni coscienti all'inizio, ma le regolarità e la fluidità del movimento

vengono codificate inconsciamente come "conoscenza tacita".

- **Esempio del linguaggio:** Anche l'acquisizione della grammatica avviene in modo implicito; i bambini prestano attenzione cosciente ai suoni, ma le regole che organizzano il linguaggio vengono apprese inconsciamente.

4. Prove Cliniche: La Dissociazione tra Esplicito e Implicito

Lo studio di pazienti celebri come **HM** e **Clive Wearing** ha fornito prove inconfutabili dell'indipendenza di questo sistema:

- **Memoria risparmiata:** Nonostante HM e Wearing avessero perso quasi completamente la capacità di formare nuovi ricordi coscienti (episodici), potevano ancora imparare nuove abilità motorie, come il compito del "pursuit-rotor" o continuare a suonare il piano.
- **Dissociazione Doppia:** Al contrario, pazienti con danni ai gangli della base (come nel morbo di Parkinson o di Huntington) mostrano gravi difficoltà nell'apprendere nuove skill motorie, pur mantenendo intatta la memoria per gli eventi espliciti.

Le abitudini e le skill motorie rappresentano una forma di **intelligenza procedurale** che opera al di sotto della soglia della consapevolezza, permettendo agli esseri umani di navigare nel mondo e interagire con esso in modo fluido, rapido ed efficiente.

Priming

Il **priming** è una delle manifestazioni principali della **memoria implicita (o inconscia)**, definita come l'effetto di uno stimolo nel creare o di elaborare.

A differenza della memoria esplicita, il priming non è accompagnato dalla consapevolezza cosciente di possedere un ricordo; la sua esistenza viene portata alla luce esclusivamente dagli effetti osservabili sul comportamento, come tempi di reazione più rapidi o una maggiore accuratezza.

1. Tipologie di Priming e Basi Neurali

Si osservano due forme principali di priming, che coinvolgono regioni cerebrali differenti:

- **Priming Percettivo:** Si basa su alterazioni delle rappresentazioni percettive nella **neocorteccia posteriore**. Un esempio è mostrare l'immagine di un volto, che aumenterà l'efficienza di elaborazione di un volto presentato subito dopo.

- **Priming Concettuale (o Semantico):** La relazione tra gli stimoli è basata sul significato (ad esempio, la parola "cibo" che facilita l'elaborazione di "acqua"). Questo tipo è associato ad alterazioni nei sistemi concettuali della **corteccia prefrontale** e delle aree temporali laterali.

2. Il Fenomeno della Riduzione dell'Attivazione

A differenza dei test di memoria esplicita, che mostrano un aumento dell'attività cerebrale durante il recupero, il priming è caratterizzato da una **riduzione dell'attivazione** (spesso chiamata *repetition suppression*) nelle regioni che mediano le rappresentazioni percettive o semantiche.

Ad esempio, la presentazione ripetuta di volti o parole porta a una diminuzione dell'attività nella corteccia temporale inferiore e extrastriata. Questo suggerisce che il cervello diventi più efficiente nel processare stimoli già incontrati in precedenza.

3. Dissociazione Clinica: Il Caso degli Amnesici

Una prova cruciale dell'indipendenza del priming dalla coscienza deriva dallo studio di pazienti con **amnesia organica** (come il celebre paziente HM):

- Sebbene questi pazienti non abbiano alcun ricordo conscio di aver studiato una lista di parole (memoria

episodica danneggiata), mostrano un **priming normale** in test indiretti.

- In compiti come il completamento di frammenti di parole (es. completare "met__" dopo aver visto "metal"), gli amnesici rispondono con la stessa velocità e accuratezza dei soggetti sani, pur non sapendo perché quella parola sia venuta loro in mente. Ciò dimostra che il priming non dipende dal lobo temporale mediale (ippocampo), essenziale invece per la memoria cosciente.

4. Priming nel Quadro Funzionale della Mente

All'interno del diagramma funzionale della memoria, il priming è collocato tra i sistemi di **apprendimento e recupero implicito**, insieme alle abilità motorie e alle abitudini. Esso riflette la tendenza generale del cervello a impegnarsi in un'**elaborazione predittiva** in ogni momento, preparando il sistema cognitivo a ciò che è probabile incontrare nuovamente in base all'esperienza recente, anche se tale esperienza rimane al di fuori della consapevolezza.

Il priming è il "residuo" di esperienze passate che guida il comportamento in modo automatico e inconscio, ottimizzando le risorse cognitive senza richiedere lo sforzo del recupero volontario.

Lobo temporale mediale

Il **Lobo Temporale Mediale (MTL)** è un sistema complesso e cruciale per la **memoria esplicita** e l'**apprendimento dichiarativo**, agendo come un "hub dei hub" che integra informazioni provenienti da diverse aree sensoriali, emotive ed esecutive del cervello. Esso comprende l'ippocampo e le regioni corticali circostanti, come la corteccia peririnale, entorinale e paraippocampale.

1. Il "Gateway" della Memoria Episodica

La funzione primaria dell'MTL è quella di servire come **punto di passaggio** per trasformare le esperienze coscienti in ricordi a lungo termine.

- **Codifica e recupero:** È essenziale per codificare nuovi eventi autobiografici (memoria episodica) e per il loro successivo recupero.
- **Binding (Legame):** L'MTL ha il compito di "legare" insieme i diversi frammenti di un'esperienza (viste, suoni, emozioni) rappresentati nella neocorteccia, creando una traccia mnemonica coerente.

- **Funzione di Indice:** Agisce come un "puntatore" o indice verso gli insiemi di neuroni neocorticali che conservano i dettagli dell'esperienza originale.

2. Consolidamento e Trasferimento alla Neocorteccia

L'MTL non è la sede finale dei ricordi, ma un sistema di stoccaggio temporaneo.

- **Consolidamento del sistema:** I ricordi dipendono inizialmente dall'MTL, ma nel tempo vengono **consolidati nella neocorteccia**, dove diventano più resistenti all'oblio.
- **Il ruolo del sonno:** Durante il sonno ad onde lente (SWS), l'ippocampo "riproduce" i modelli di attivazione degli episodi appresi durante la veglia, guidando il dialogo con la neocorteccia per rendere i ricordi permanenti. Questo processo è spesso coordinato dai **ritmi theta**.

3. Specializzazione Funzionale all'interno dell'MTL

Sebbene l'intero complesso sia coinvolto nella memoria, diverse aree svolgono ruoli specifici:

- **Ippocampo:** È fondamentale per il ricordo dei **contesti**, delle **relazioni** tra gli elementi e per la **navigazione spaziale**. Studi sui tassisti londinesi mostrano che l'ippocampo posteriore può aumentare di volume con l'esercizio della memoria spaziale.

- **Corteccia Peririnale:** È maggiormente associata alla memoria dei **singoli oggetti** e al senso di **familiarità**.
- **Corteccia Paraippocampale:** Si attiva specificamente per la rappresentazione di **luoghi, scene e landmark**.

4. Evidenze dai Casi Clinici: HM e Clive Wearing

Lo studio di pazienti con danni bilaterali all'MTL ha fornito prove fondamentali sulla sua funzione:

- **Amnesia Anterograda:** Pazienti come **HM** e **Clive Wearing** hanno perso la capacità di formare nuovi ricordi coscienti dopo il danno all'MTL.
- **Dissociazioni:** Questi pazienti conservano una **memoria immediata** (working memory) normale per pochi secondi e una **memoria implicita** (abilità motorie e priming) intatta, dimostrando che l'MTL è specifico per la memoria dichiarativa a lungo termine.
- **Memorie Remote:** I ricordi dell'infanzia sono spesso preservati, confermando che, una volta consolidati, i ricordi risiedono al di fuori dell'MTL.

5. Interazione con Emozioni ed Esecutivo Centrale

- **Emozione:** L'MTL interagisce strettamente con l'**amigdala** (situata alla sua estremità anteriore) per dare

priorità alla memorizzazione di eventi emotivamente significativi, mediata dal rilascio di ormoni dello stress.

- **Controllo Esecutivo:** La **corteccia prefrontale (PFC)** lavora "con" la memoria dell'MTL, organizzando, monitorando e selezionando strategicamente le informazioni da codificare o recuperare.

Il Lobo Temporale Mediale è il motore intelligente che permette alla mente umana di **costruire un passato** e proiettarsi nel futuro, trasformando la percezione immediata in conoscenza duratura.

Ippocampo e Corteccia

Il **consolidamento** è il processo di stabilizzazione progressiva delle tracce mnemoniche a lungo termine, rendendole relativamente resistenti al decadimento o all'interferenza.

Si distingua fra **consolidamento sinaptico (o rapido)**, che avviene entro i primi minuti o ore dopo l'apprendimento, e **consolidamento sistemico**, un processo molto più lungo che può durare giorni, anni o persino decenni.

Nel contesto del consolidamento sistemico, il **lobo temporale mediale (MTL)**, che comprende l'ippocampo, funge da deposito temporaneo e da "indice" o puntatore verso gli insiemi di neuroni nella neocorteccia che rappresentano l'esperienza originale.

Inizialmente, i ricordi dipendono fortemente dall'interazione tra MTL e corteccia, ma questo ruolo dell'ippocampo declina gradualmente man mano che la traccia mnemonica viene stabilizzata e integrata nella **neocorteccia**, che diventa sufficiente per la rappresentazione a lungo termine.

Un elemento cruciale per questo dialogo tra ippocampo e corteccia è il **sonno**, in particolare la fase ad onde lente (SWS). Durante il sonno, il cervello "riproduce" i modelli di attivazione

neuronale degli episodi appresi durante la veglia, facilitando la trasformazione di memorie labili in ricordi permanenti.

Durante gli **"Up States"** del sonno profondo, l'attività dei fusi talamici innesca picchi ippocampali (*sharp spikes*) che riattivano le tracce mnemoniche recenti, permettendo alla corteccia di consolidarle.

I **ritmi theta** sono considerati i principali organizzatori di questa trasmissione di informazioni tra l'ippocampo e i lobi frontali durante il consolidamento.

A livello biologico, il consolidamento richiede la **sintesi proteica**, l'espressione genica e cambiamenti morfologici nelle sinapsi, come la crescita di spine dendritiche, per rendere i collegamenti neuronali più efficienti e duraturi. Meccanismi come il **potenziamento a lungo termine (LTP)** sono i substrati fisici che permettono queste modifiche sinaptiche sia nell'ippocampo che nella neocorteccia.

Le evidenze cliniche derivanti da pazienti come **HM** supportano l'idea che l'MTL non sia la sede finale dei ricordi: nonostante HM non potesse formare nuovi ricordi episodici, conservava i ricordi della sua infanzia, suggerendo che questi fossero già stati consolidati nella neocorteccia prima del danno cerebrale.

Infine, la **teoria delle tracce multiple** propone un'alternativa al modello standard, suggerendo che l'MTL rimanga necessario per i ricordi episodici per tutta la loro durata e che ogni rievocazione crei una nuova traccia mnemonica mediata dall'ippocampo.

Attenzione e Coscienza

Sistemi attentivi

Cattura sensoriale

Nel contesto dei **sistemi attentivi**, la cattura sensoriale o **attenzione bottom-up** è il processo spontaneo, involontario e guidato dagli stimoli ambientali.

Questo meccanismo si attiva quando un evento sensoriale è sufficientemente intenso, improvviso o biologicamente rilevante da "sequestrare" le risorse cognitive, indipendentemente dagli obiettivi attuali del soggetto.

1. Definizione e Fattori Scatenanti

L'attenzione bottom-up riflette i momenti in cui l'esperienza sensoriale viene catturata da stimoli esterni. E' possibile identificare diversi tipi di "trigger" che innescano questa risposta:

- **Intensità fisica:** Stimoli improvvisi come un lampo di luce (*flash*), uno scoppio (*bang*) o un rumore forte.
- **Rilevanza biologica e personale:** Stimoli intrinsecamente significativi per la sopravvivenza o l'identità, come il proprio nome pronunciato in una stanza affollata, l'odore del cibo quando si ha fame, o la vista di un volto umano.
- **Segnali di minaccia:** Stimoli come il ringhio improvviso di un grosso cane o un camion che incombe nel campo visivo catturano l'attenzione in modo automatico per permettere una reazione rapida.
- **Novità e Salienza:** Eventi inattesi o che contrastano nettamente con lo sfondo (effetto "pop-out").

2. Il Sistema Duale: Bottom-up vs. Top-down

Il quadro funzionale della mente integra la cattura sensoriale all'interno di un **sistema di controllo duale**:

- **Attenzione Volontaria (Top-down):** È guidata dall'**Esecutivo Centrale** (corteccia prefrontale) verso obiettivi specifici.
- **Attenzione Spontanea (Bottom-up):** È guidata dalle proprietà dello stimolo e dalle regioni sensoriali posteriori del cervello.

- **Interazione:** Questi due sistemi sono in costante competizione e cooperazione. Ad esempio, un'attività volontaria come leggere un libro può essere interrotta dal suono di un campanello (cattura bottom-up), che sposta l'attenzione verso il nuovo stimolo.

3. Basi Neuroanatomiche e Meccanismi

La cattura sensoriale coinvolge reti neurali specifiche e meccanismi di selezione:

- **Regioni Sensoriali Posteriori:** Le aree della corteccia visiva, uditiva e somatosensoriale sono le prime a reagire agli stimoli catturanti e possono innescare processi di orientamento.
- **Ruolo dell'Amigdala:** Nelle situazioni di paura o minaccia, l'amigdala invia segnali di *feedback* alle cortecce sensoriali per aumentare la loro ricettività verso stimoli adattivamente importanti, rendendoli più facili da portare alla coscienza.
- **Mappe di Salienza:** Il cervello costruisce "mappe di salienza" che combinano caratteristiche diverse (colore, contrasto, movimento) per identificare la posizione più rilevante in un dato momento.
- **Strutture Sottocorticali:** Il **collicolo superiore** (per i movimenti oculari) e il **pulvinar** del talamo sono

componenti critiche per l'orientamento automatico verso stimoli salienti.

4. Relazione con la Coscienza

Sebbene l'attenzione e la coscienza siano processi distinti, la cattura bottom-up è uno dei percorsi principali per rendere un evento **cosciente**.

- **Selezione e Accesso:** L'attenzione agisce come un processo di selezione, mentre la coscienza è l'esperienza risultante di tale selezione.
- **Integrazione:** Quando uno stimolo cattura l'attenzione, esso viene spesso "diffuso" globalmente nel cervello attraverso il sistema talamo-corticale, diventando un contenuto mentale riferibile dal soggetto.
- **Apprendimento:** Anche l'apprendimento implicito spesso richiede che l'attenzione bottom-up orienti inizialmente il soggetto verso gli stimoli, permettendo al cervello di estrarne successivamente le regolarità in modo inconscio.

La cattura sensoriale bottom-up rappresenta la capacità del cervello di rimanere **vigile e adattivo**, permettendo a eventi cruciali dell'ambiente di interrompere il flusso del pensiero volontario per garantire una risposta immediata alle sfide o alle opportunità del mondo esterno.

Volontaria

L'**attenzione top-down (o volontaria)** è un processo cognitivo guidato da obiettivi, aspettative e intenzioni interne del soggetto, contrapposto alla cattura spontanea guidata dagli stimoli esterni (bottom-up).

Essa permette di dirigere deliberatamente le risorse mentali verso informazioni specifiche, agendo come un meccanismo di selezione che determina quali contenuti entreranno nel focus della coscienza.

1. Il ruolo della Centrale di Esecuzione

L'attenzione volontaria è una funzione primaria d**ella Centrale di Esecuzione**, situata prevalentemente nella **corteccia prefrontale (PFC)**. Richiamando la metafora del "CEO", già descritta:

- **Stabilisce gli obiettivi** e decide a cosa prestare attenzione in base al compito attuale.
- **Esercita uno sforzo mentale** per mantenere il focus su informazioni difficili o per ignorare distrazioni interessanti.

- **Coordina i sensi interni**, come la ripetizione verbale o la rotazione mentale di immagini, che sono processi attentivi sotto controllo volontario.

2. Basi Neuroanatomiche e il Modello di Posner

Esiste una rete specifica per il controllo attentivo volontario, spesso associata agli studi di **Michael Posner**:

- **Rete Esecutiva (o di conflitto):** Coinvolge la **corteccia cingolata anteriore (ACC)** e la corteccia prefrontale laterale. È fondamentale per risolvere conflitti tra stimoli e regolare il comportamento orientato all'obiettivo.
- **Rete di Orientamento:** Situata nelle regioni parietali (come il solco intraparietale) e nei campi oculari frontali (FEF), è responsabile dello spostamento volontario dell'attenzione nello spazio.
- **Strutture Sottocorticali:** Il **pulvinar** del talamo e il **collicolo superiore** collaborano con la corteccia per filtrare le informazioni e guidare i movimenti oculari volontari.

3. Meccanismi di Elaborazione: Aspettativa e Feedback

L'attenzione top-down è definita "guidata dalle aspettative" (*expectation-driven*).

Il cervello non riceve passivamente gli input, ma genera costantemente predizioni sul mondo.

- **Segnali di Feedback:** Le informazioni fluiscono "verso il basso" dalle aree prefrontali e parietali alle cortecce sensoriali primarie (come V1 per la vista), aumentando la sensibilità dei neuroni verso gli stimoli attesi.
- **Sincronia Neurale:** L'attenzione volontaria sembra operare attraverso la **sincronizzazione dei ritmi cerebrali** (specialmente nelle bande gamma e theta) tra le aree di controllo fronto-parietali e le aree sensoriali target, facilitando la comunicazione e l'integrazione delle caratteristiche dell'oggetto.

4. Relazione con la Coscienza e l'Apprendimento

Sebbene attenzione e coscienza siano processi distinti (l'attenzione è il processo di *selezione*, la coscienza è l' *esperienza* risultante), l'attenzione volontaria è il mezzo principale per rendere chiaro e consapevole un contenuto.

- **Gating della Coscienza:** L'attenzione volontaria agisce come un "riflettore" (*spotlight*) che porta gli oggetti nell'area della consapevolezza esplicita.
- **Apprendimento Dichiarativo:** Il processo di rendere le cose consce attraverso l'attenzione è ciò che permette il

consolidamento di nuove memorie episodiche e semantiche nell'ippocampo.

5. Il Continuo tra Volontario e Automatico

Le fonti sottolineano che l'attenzione non è un sistema "tutto o niente", ma un **continuum**:

- Molte attività iniziano come altamente volontarie e attentamente monitorate (come imparare a guidare) per poi diventare **automatiche** con la pratica, richiedendo meno risorse della corteccia prefrontale.
- Tuttavia, il controllo volontario può essere ripristinato immediatamente se si verifica un evento inaspettato (ad esempio, un guasto all'auto).
- In disturbi come l'**ADHD**, si ritiene vi sia un'interruzione nel loop attentivo che collega la corteccia prefrontale, il tronco encefalico e le regioni posteriori, rendendo difficile il mantenimento del controllo volontario sulle distrazioni.

Selezione precoce e tardiva

Il dibattito tra **selezione precoce** e **selezione tardiva** rappresenta uno dei temi storici più rilevanti nello studio dei **sistemi attentivi**, volto a stabilire in quale fase del processo di elaborazione le informazioni superino il "collo di bottiglia" dell'attenzione per diventare consce.

1. Selezione Precoce: Il Filtro Basato sulle Caratteristiche Fisiche

Il concetto di selezione precoce è strettamente legato ai lavori pionieristici di **Donald Broadbent** negli anni '50.

- **Meccanismo:** Secondo questa visione, l'attenzione agisce come un filtro iniziale basato su caratteristiche sensoriali grossolane (come il colore, la posizione nello spazio o il tono della voce).
- **Paradigma dell'Ascolto Dicotico:** Negli esperimenti in cui ai soggetti vengono inviati due messaggi diversi contemporaneamente (uno per orecchio), essi riescono a riferire il contenuto di un solo canale (quello "ombreggiato" o *shadowed*).
- **Elaborazione dell'informazione ignorata:** Nel canale non attento, le persone riescono a percepire solo le qualità fisiche (come la qualità della voce), ma non il significato delle parole, suggerendo che la selezione avvenga prima dell'analisi semantica.

2. Selezione Tardiva: L'Analisi del Significato

La teoria della selezione tardiva propone che il cervello elabori il significato di gran parte degli stimoli in entrata prima che avvenga la selezione attentiva.

- **Meccanismo:** In questo caso, l'attenzione non si basa solo su tratti fisici, ma su proprietà di alto livello, come l'**utilità di un oggetto** o la sua rilevanza semantica.
- **Rilevanza Personale:** Fenomeni come il sentire il proprio nome in una stanza affollata (effetto cocktail party) dimostrano che anche stimoli non attentamente monitorati possono essere elaborati se hanno un alto valore biologico o personale.

3. La Risoluzione delle Neuroscienze: Un Sistema Flessibile

Le moderne tecniche di neuroimmagine hanno contribuito a risolvere questo lungo dibattito psicologico.

- **Selezione Multilivello:** Gli studi sul cervello hanno dimostrato che la selezione attentiva può influenzare i neuroni a **quasi ogni livello del sistema visivo** (e uditivo).
- **Conclusione:** Non esiste un unico punto fisso per il filtro attentivo; la selezione può essere sia precoce che tardiva a seconda della complessità del compito e degli obiettivi del soggetto.

4. Il Contesto dei Sistemi Attentivi e della Memoria di Lavoro

All'interno del quadro funzionale della mente, la selezione precoce e tardiva si inseriscono in un sistema più ampio di gestione delle risorse limitate:

- **Limitata Capacità:** L'attenzione è una funzione a capacità ridotta; il cervello ha "stretti limiti" per la percezione conscia e il controllo volontario, descritti metaforicamente come un **imbuto**.
- **Ruolo della Centrale di Esecuzuine:** Ha il ruolo di dirigere la selezione volontaria (**top-down**), modulando l'attività nelle cortecce sensoriali posteriori per dare priorità ad alcuni segnali rispetto ad altri.
- **Cattura Bottom-up:** Parallelamente, stimoli improvvisi o intensi possono "sequestrare" l'attenzione in modo spontaneo (**bottom-up**), forzando una selezione immediata indipendentemente dagli obiettivi attuali.
- **Accesso alla Coscienza:** La selezione, sia essa precoce o tardiva, è spesso vista come il meccanismo necessario affinché uno stimolo sensoriale superi una soglia critica di attività neuronale e diventi un **evento conscio** riferibile.

La mente non utilizzi un filtro rigido, ma un sistema dinamico in cui l'attenzione modula il flusso informativo lungo tutta la gerarchia cerebrale per ottimizzare l'apprendimento e l'azione.

Stati di coscienza

Veglia

Lo stato di **veglia** è il modo di operare del **sistema talamocorticale** caratterizzato da un'attivazione globale del cervello, in cui il traffico neurale diventa più veloce, ampiamente connesso e altamente differenziato.

All'interno del contesto più ampio degli stati di coscienza, la veglia rappresenta il pilastro per l'apprendimento e l'interazione flessibile con il mondo, distinguendosi nettamente per la sua dinamica elettrofisiologica e biochimica.

1. Il Nucleo Talamocorticale e la Dinamica Esecutiva

Il sistema talamocorticale è considerato la base cerebrale per gli stati di coscienza. La veglia è sostenuta da interazioni rientranti (*reentrant interactions*) tra popolazioni di neuroni nel talamo e nella corteccia.

- **Il "Pompa" Ritmica:** Il circuito di base coinvolge tre neuroni connessi: un neurone piramidale corticale, un

neurone reticolare del talamo e un neurone di feedback talamico. Questo loop agisce come una "pompa ritmica" fondamentale che opera in modo diverso durante la veglia, il sonno e il sogno.

- **Il "Blackboard" Centrale:** L'**ERTAS** (Sistema Reticolare-Talamico Esteso) funge da "lavagna" centrale o sistema di trasmissione globale. Per diventare conscio, un segnale corticale deve innescare il supporto dell'ERTAS in un flusso circolatorio di informazioni, permettendo la diffusione del messaggio a tutto il cervello.

2. Caratteristiche dell'EEG e Elaborazione dell'Informazione

L'attività elettrica registrata sulla superficie (EEG) durante la veglia riflette un'elaborazione dell'informazione molto complessa:

- **Onde Veloci e Bassa Ampiezza:** L'EEG di veglia è caratterizzato da onde **Beta (12-25 Hz)** e **Gamma (26-120 Hz)**, che appaiono irregolari e a basso voltaggio.
- **Differenziazione Neurale:** A differenza del sonno profondo (SWS), dove i neuroni "cantano tutti la stessa canzone" in modo sincronizzato e ridondante, durante la veglia milioni di neuroni sparano in modo ampiamente indipendente.
- **Metafora dello Stadio:** Durante il sonno tutti i tifosi urlano e tacciono all'unisono (alta ampiezza, bassa

informazione), mentre la veglia è come lo stadio durante la conversazione tra vicini: il suono è irregolare e basso, ma il contenuto informativo è massimo.

3. Sincronia Locale vs. Ipersincronia Globale

Sebbene la veglia sembri "caotica" nell'EEG grezzo, essa si basa su una **sincronia locale e transitoria**:

- **Gamma Synchrony:** Brevi picchi di sincronizzazione a frequenze gamma (circa 40 Hz) sono associati all'integrazione delle caratteristiche sensoriali in oggetti consci coerenti (problema del *binding*).
- **Flessibilità:** La veglia somiglia al traffico di una città nell'ora di punta: ogni auto (segnale) può andare ovunque in base a obiettivi locali, a differenza degli stati inconsci (come l'epilessia o il sonno profondo) dove tutti i semafori diventano verdi o rossi contemporaneamente, bloccando il flusso funzionale.

4. Il Ruolo dei Neuromodulatori

Il passaggio tra veglia e altri stati è controllato da piccoli nuclei nel tronco encefalico e nel proencefalo basale che "spruzzano" sostanze chimiche su vaste aree della corteccia.

- **Sistemi di Attivazione:** La veglia è "accesa" dalla distribuzione simultanea di **acetilcolina, serotonina, norepinefrina e dopamina**.
- **Funzioni Specifiche:** Ognuno di questi modulatori abilita diverse capacità: l'acetilcolina e la norepinefrina mediano l'allerta e la chiarezza sensoriale, mentre la dopamina mantiene il focus motivazionale e psicomotorio.

5. Funzioni Cognitive della Veglia

All'interno del quadro degli stati di coscienza, la veglia è l'unico stato che supporta:

- **Apprendimento Dichiarativo:** La capacità di codificare nuovi eventi come memorie episodiche nell'ippocampo richiede l'attenzione e la coscienza tipiche della veglia.
- **Controllo Volontario:** Solo durante la veglia l'**Esecutivo Centrale** può esercitare un controllo intenzionale sui muscoli scheletrici e dirigere l'attenzione verso obiettivi specifici.
- **Orientamento:** La veglia garantisce l'orientamento corretto rispetto a tempo, spazio e persone, funzioni che vengono testate clinicamente per valutare la salute cerebrale.

La veglia non è l'assenza di sonno, ma un **modo operativo altamente specializzato** del sistema talamocorticale, ottimizzato per il trasferimento rapido di informazioni, la risoluzione di

problemi complessi e la creazione di una continuità psicologica basata sulla memoria esplicita.

Sonno

Il **sonno SWS** (*Slow-Wave Sleep*) e il **sonno REM** (*Rapid Eye Movement*) sono descritti come stati fisiologici e cognitivi distinti all'interno del ciclo circadiano, caratterizzati da diverse modalità operative del **sistema talamocorticale**.

Insieme alla veglia, essi formano i tre stati principali della coscienza umana, ognuno con firme elettroencefalografiche (EEG), profili biochimici e funzioni adattive specifiche.

1. Il Sonno SWS (Sonno Profondo): Ipereccitabilità e Silenzio

Il sonno SWS è considerato lo stato "meno cosciente" del ciclo quotidiano, caratterizzato da un'elevata soglia di attivazione (*arousal threshold*).

- **Dinamica EEG:** È dominato da onde **Delta (0,5-3 Hz)**, che sono le onde più lente e di maggiore ampiezza.

Queste riflettono un'attività ipersincronizzata in cui miliardi di neuroni sparano e tacciono all'unisono.

- **Stati "Up" e "Down":** La caratteristica fondamentale del SWS è l'alternanza tra **Up States** (brevi momenti di scarica neuronale simili alla veglia) e **Down States** (momenti di silenzio assoluto). I Down States interrompono l'integrazione delle informazioni, impedendo il pensiero fluido.
- **Contenuto Mentale:** Sebbene sia il periodo di minima coscienza, i soggetti svegliati dal SWS riferiscono attività mentale circa il 50% delle volte, descrivendola però come pensiero **razionale e ripetitivo**, privo della natura narrativa dei sogni.
- **Consolidamento della Memoria:** Il SWS è cruciale per il **consolidamento sistemico** delle memorie episodiche e dichiarative. Durante gli Up States, il cervello "riproduce" i modelli di attivazione ippocampale del giorno precedente per trasferirli alla neocorteccia.

2. Il Sonno REM (Sogno): Il Secondo Stato Cosciente

Il sonno REM è descritto come uno stato di coscienza "generato internamente", con un'attività cerebrale che ricorda paradossalmente quella della veglia.

- **Dinamica EEG:** L'EEG del sonno REM è caratterizzato da onde veloci, irregolari e di bassa ampiezza (ritmi beta e gamma), molto simili a quelli della veglia.
- **Blocco Sensomotorio:** A differenza della veglia, durante il REM l'input sensoriale e l'output motorio sono bloccati (paralisi muscolare), impedendo al soggetto di "mettere in atto" i sogni.
- **Il Ruolo dell'Acetilcolina:** Lo stato REM è innescato da un'esplosione di **acetilcolina** proveniente dal tronco encefalico, mentre i livelli di serotonina e norepinefrina (essenziali per il controllo attentivo nella veglia) crollano.
- **Ipofrontalità e Sogni:** Il sonno REM è uno stato **"ipofrontale"**, caratterizzato da una ridotta attività nei lobi frontali; questo spiega la bizzarria, la mancanza di logica e l'assenza di riflessione critica tipica dei sogni. Al contrario, le aree limbiche (emozioni) mostrano un'attività più elevata.
- **Consolidamento Emotivo:** Le fonti suggeriscono che il sonno REM favorisca il consolidamento delle **memorie emotive** e delle abilità procedurali.

3. Sintesi e Confronto nel Quadro della Coscienza

Le fonti utilizzano il modello tridimensionale di Hobson per distinguere questi stati in base a tre parametri:

1. **Attivazione Corticale:** Alta nella veglia e nel REM, bassa nel SWS.
2. **Fonte dell'Input:** Esterna nella veglia, interna nel REM e SWS.
3. **Neuromodulazione:** Dominata da norepinefrina / serotonina nella veglia e dall'acetilcolina nel REM.

Mentre il **SWS** serve a "pulire" e stabilizzare i ricordi attraverso una sincronia massiccia che spegne temporaneamente la coscienza soggettiva, il **sonno REM** rappresenta una forma di coscienza autonoma in cui il sistema talamocorticale si attiva per elaborare esperienze emotive e simulare scenari in un ambiente protetto dal blocco motorio.

Oscillazioni Theta e Alpha

Le **oscillazioni Theta e Alpha** sono i ritmi elettroencefalografici (EEG) fondamentali che operano nel dominio dei **100 millisecondi** (un decimo di secondo), una scala temporale considerata critica per l'integrazione della percezione e l'accesso alla coscienza. All'interno del sistema talamocorticale, queste onde fungono spesso da "vettori" o organizzatori per ritmi

più veloci, mediando la comunicazione tra regioni cerebrali distanti in diversi stati di coscienza.

1. Oscillazioni Alpha (8–12 Hz): Rilassamento e Soppressione

Il ritmo Alpha è storicamente il primo a essere stato scoperto (ritmo di Berger) ed è caratterizzato da onde sinusoidali regolari.

- **Origine e Condizioni:** Ha la sua massima densità nella **corteccia occipitale**. Si manifesta tipicamente durante la **veglia rilassata ad occhi chiusi**.
- **"Alpha Blocking":** Quando il soggetto apre gli occhi o si impegna in un compito cognitivo attivo (pensiero, immagini mentali), l'attività Alpha viene soppressa o "bloccata", sostituita da ritmi Beta e Gamma più veloci e irregolari.
- **Funzione Cognitiva:** Oltre al semplice "idling" (riposo), recenti evidenze suggeriscono che l'Alpha rifletta la **soppressione selettiva** di aree cerebrali irrilevanti per il compito in corso. Inoltre, la rilevazione di stimoli visivi è più efficace se questi si verificano al picco dell'onda Alpha endogena.

2. Oscillazioni Theta (4–7 Hz): Memoria e Dialogo Ippocampale

Il ritmo Theta è uno dei più lenti della veglia e gioca un ruolo centrale nel coordinamento dei sistemi di memoria.

- **Origine e Densità:** La densità massima si registra sopra la **corteccia frontale** (linea mediana).
- **Memoria Episodica:** È il ritmo principale che organizza la comunicazione tra l'**ippocampo e la corteccia frontale** durante la codifica e il recupero dei ricordi. In particolare, coordina l'estrazione delle tracce mnemoniche durante il recupero.
- **Stati di Coscienza:** Oltre alla veglia, il ritmo Theta è osservabile negli stadi iniziali del sonno (Stadio 1), nella meditazione e durante il sonno REM.

3. Il Fenomeno del Multiplexing e la Coscienza

Un concetto cruciale che emerge dalle fonti è il **multiplexing**, ovvero la capacità delle onde lente (Theta e Alpha) di "trasportare" o raggruppare onde più veloci (Gamma).

- **Integrazione Sensoriale:** Si ritiene che la coscienza derivi da esplosioni globali di sincronia Gamma che sono temporizzate (fase-locked) ai ritmi Theta o Alpha. Questo meccanismo permette a regioni distanti della corteccia di disintegrarsi e reintegrarsi ciclicamente per formare momenti discreti di esperienza percettiva.

- **Il Limite dei 100 ms:** Poiché un singolo neurone può accumulare input per circa 10 ms, i ritmi della veglia (come Alpha e Theta) sono nella gamma di frequenza ideale per reclutare e sincronizzare popolazioni neuronali aggiuntive, facilitando il "broadcasting" globale delle informazioni consce.

4. Theta e Alpha negli Stati Alterati e nel Sonno

- **Meditazione:** Le pratiche meditative (come la ripetizione di un mantra o la mindfulness) tendono ad aumentare la coerenza e l'attività nelle bande Theta e Alpha, indicando una maggiore integrazione tra aree frontali e parietali.
- **Sonno e Consolidamento:** Durante il sonno SWS, l'**Up State** dell'onda lenta (Delta) raggruppa attività Theta e Gamma. Il ritmo Theta agisce come il principale organizzatore del dialogo ippocampo-neocorticale necessario per il consolidamento delle memorie episodiche.
- **REM:** Nel sonno REM, si osserva un aumento del legame in banda Theta tra ippocampo e lobo frontale, supportando ulteriormente il consolidamento delle memorie emotive.

Le onde Alpha e Theta non sono semplici sottoprodotti dell'attività cerebrale, ma costituiscono l'**impalcatura temporale**

della coscienza. Mentre l'Alpha modula la disponibilità sensoriale e filtra il rumore, il Theta orchestra il flusso di informazioni tra i magazzini di memoria e i centri esecutivi, permettendo alla mente di mantenere una continuità cognitiva attraverso i vari stati di coscienza.

Integrazioni delle informazioni

L'**integrazione delle informazioni** è la funzione centrale e distintiva della coscienza, resa possibile dall'azione coordinata dei sistemi attentivi e dalla complessa architettura del sistema talamocorticale.

Mentre i singoli sistemi sensoriali elaborano i dati in modo frammentario e specializzato, la coscienza agisce come il "collante" che unifica queste parti in un'esperienza coerente e globale.

1. La Teoria dell'Informazione Integrata (IIT)

Secondo **Giulio Tononi**, la coscienza è una conseguenza diretta di sistemi che possiedono sia un'elevata **differenziazione** (molti stati possibili) che un'elevata **integrazione**.

- **Definizione:** L'integrazione significa che l'informazione è accessibile al sistema nel suo complesso. Un computer può contenere miliardi di dati (differenziazione), ma se questi non sono integrati tra loro, il sistema non è conscio.
- **Misura Φ (Phi):** Questa grandezza matematica misura la quantità di informazione effettiva che può essere integrata

attraverso l'"anello più debole" di un sistema. Più alto è il valore di Φ, maggiore è il grado di coscienza del sistema.

2. Il "Binding Problem" e la Sincronia Gamma

L'integrazione è la soluzione biologica al cosiddetto **problema del legame** (*binding problem*): come fa il cervello a unire caratteristiche isolate (colore, forma, posizione) in un unico oggetto come una "tazzina di caffè"?.

- **Sincronia Neurale:** Il meccanismo fisico dell'integrazione è la sincronizzazione dei ritmi cerebrali, in particolare nella banda **Gamma (30-100+ Hz)**.
- **Coalescenza:** Quando popolazioni di neuroni distanti sparano impulsi in perfetta sincronia (fase-lock), le caratteristiche sensoriali vengono "legate" insieme in un percetto conscio.
- **Multiplexing:** Le onde più lente, come **Theta e Alpha**, agiscono come vettori che raggruppano le scariche Gamma più veloci, organizzando l'integrazione su diverse scale temporali.

3. Global Workspace Theory (GWT) e il "Broadcasting"

Secondo la teoria dello **Spazio di Lavoro Globale** di Bernard Baars, la coscienza funge da capacità di memoria integrativa fugace.

- **Integrazione e Distribuzione:** Un contenuto mentale diventa conscio quando viene selezionato dall'attenzione e "trasmesso globalmente" (*broadcast*) a tutto il cervello.
- **Funzione Adattiva:** Questa integrazione è fondamentale per risolvere problemi nuovi che non possono essere gestiti da automatismi inconsci locali. La coscienza permette a reti specializzate di cooperare e competere per trovare soluzioni.

4. Il Ruolo dell'Attenzione come Selettore

L'attenzione è il processo di **selezione**, mentre la coscienza è l'**esperienza** risultante da tale selezione integrata.

- **Filtro e Integrazione:** L'attenzione (sia volontaria che spontanea) dirige le risorse cognitive verso uno stimolo, permettendogli di superare una soglia critica di attività e di essere integrato nello spazio di lavoro globale.
- **Winner-Take-All (WTA):** Nelle reti neurali, l'integrazione finale spesso segue un meccanismo "il vincitore prende tutto", dove la coalizione di neuroni più attiva inibisce le altre, garantendo che la coscienza sia unitaria e coerente.

5. Basi Anatomiche dell'Integrazione

L'integrazione non avviene in un unico punto, ma attraverso reti diffuse:

- **Sistema Talamocorticale:** È il cuore pulsante dell'integrazione grazie alla sua altissima connettività rientrante.
- **Corteccia Parietale e Frontale:** Queste aree sono definite "hub di hub" perché integrano informazioni provenienti da diversi sensi (integrazione cross-modale) e coordinano l'azione.
- **ERTAS (Sistema Reticolare-Talamico Esteso):** Agisce come una "lavagna centrale" o sistema di trasmissione globale necessario per l'integrazione dei segnali corticali.

L'integrazione è il processo attraverso il quale il cervello trasforma un insieme caotico di segnali in un mondo percepito con significato, utilizzando l'**attenzione per selezionare** e la **sincronia neurale per unificare** l'esperienza conscia.

Conclusione

Il tema dell'***Infinito*** di Giacomo Leopardi trova una perfetta rispondenza scientifica nei concetti scientifici delle neuroscienze cognitive

Il parallelismo può essere tracciato seguendo la struttura stessa della poesia:

1. La "Siepe" e i Limiti della Capacità Cognitiva

> *"Sempre caro mi fu quest'ermo colle, / e questa siepe, che da tanta parte / dell'ultimo orizzonte il guardo esclude."*

Leopardi inizia con un limite fisico: la siepe che impedisce la vista dell'orizzonte. Nelle neuroscienze, questo "impedimento" corrisponde ai **"limiti di capacità"** del cervello umano.

Nonostante possediamo miliardi di neuroni, la nostra attenzione focale e la memoria di lavoro sono estremamente ristrette (il "numero magico" quattro o sette). Come la siepe, i nostri sensi e la nostra attenzione creano un "collo di bottiglia" che seleziona solo una minima parte della realtà esterna.

2. "Mirando" e l'Immaginazione (Taccuino Visuo-spaziale)

> *"Ma sedendo e mirando, interminati / spazi di là da quella, e sovrumani / silenzi, e profondissima quiete / io nel pensier mi fingo"*

Quando lo sguardo è precluso, il poeta attiva il pensiero per "fingere" (nel senso latino di plasmare, costruire) spazi interminabili.

Questo processo è l'equivalente funzionale dei "sensi interni" descritti nelle fonti, in particolare il taccuino visuo-spaziale e l' "occhio della mente" (*mind's eye*).

Le immagini mentali attivano le stesse aree della corteccia visiva usate per la percezione reale. Leopardi, "sedendo e mirando" mentalmente, sta eseguendo un lavoro di costruzione percettiva (*constructive perception*), dove il cervello "riempie" le lacune informative basandosi su inferenze ed esperienze passate per creare una visione interna coerente.

3. Il "Silenzio" e la Coscienza Pura

> *"...e sovrumani / silenzi, e profondissima quiete / io nel pensier mi fingo"*

Il "sovrumano silenzio" e la "quiete" cercati dal poeta possono essere paragonati allo stato di "coscienza pura" descritto negli studi sulla meditazione. Questo stato è una "allerta rilassata senza specifici contenuti mentali". In questi momenti, si osserva una sincronizzazione dei ritmi cerebrali (onde Alpha e Theta) e una riduzione dell'attività metabolica.

È il tentativo della mente di trascendere il flusso caotico di informazioni per raggiungere un nucleo di consapevolezza silenzioso.

4. Il "Naufragar" e l'Integrazione della Coscienza

"...e il naufragar m'è dolce in questo mare."

La conclusione della poesia descrive la perdita dei confini del Sé nell'immensità dell'infinito. In termini neuroscientifici, la nostra identità e la percezione del mondo dipendono da quel nucleo di neuroni del sistema talamocorticale che interagiscono tra loro con altissima frequenza per sostenere l'esperienza conscia: Core Dinamico.

La coscienza è definita dalla capacità del sistema talamocorticale di integrare le informazioni provenienti da miliardi di fonti diverse in un'unica esperienza unitaria.

Il "naufragare" nel pensiero è il momento in cui l' "Io osservatore" (supportato dalle regioni parietali e prefrontali) smette di analizzare i dettagli separati e si fonde in un'unica trasmissione globale (*global broadcasting*) di consapevolezza, dove la "diversità è fusa nell'unità".

Leopardi descrive poeticamente ciò che le neuroscienze studiano empiricamente: come la mente umana, partendo da limiti biologici ristretti, sia in grado di compiere un viaggio mentale nel tempo e nello spazio attraverso l'immaginazione e la memoria episodica, costruendo un senso di infinito dentro i confini fisici del cervello.

La poesia ci salverà.

Indice generale

Principi fondamentali....1

Gli ordine di grandezza....1

Da molecole a metri....1

La scala della distanza (da 10^{-7}m a 1 m)....1

L'ampio contesto degli ordini di grandezza....3

Tempo....4

1. La scala dei millisecondi (10^{-3} s)....5

2. Il "Medio Ground" dei 100 millisecondi....5

3. Secondi e Minuti (10^{0} s – 10^{2} s)....7

4. Ore, Giorni e Anni (10^{3} s - 10^{7} s e oltre)....8

Il contesto delle Scale di Magnitudine....8

Metodi di indagini....10

Inferenza....10

1. La Costruzione di Reti Nomologiche....10

2. La Fallacia Seducente dei Dati Cerebrali....11

3. L'Importanza delle Misure Convergenti.....11
4. Dalla Correlazione alla Causalità.....12
5. Natura Provvisoria e Assunzioni Semplificative.....12
Misure convergenti.....13
1. Il Superamento dello Scetticismo e la Verifica.....13
2. Il Compromesso tra Tempo e Spazio (Trade-off).....14
3. Validazione dei Costrutti Psicologici.....15
4. Dalla Correlazione alla Necessità.....15
5. Convergenza tra Specie e Popolazioni.....16
Anatomia.....17
Lobo frontale: AZIONE.....17
Corteccia prefrontale.....17
1. La Divisione tra Input e Output.....17
2. Gerarchia dell'Azione (da Astrazione a Codice Motorio) 18
3. Funzioni Esecutive e "Metacognizione".....18
4. Il Ruolo nel "Lavorare con la Memoria".....19

5. Sviluppo, Personalità e Comportamento Sociale.....19

6. La PFC come "Hub" di Connettività.....21

Funzioni esecutive.....21

1. Definizione e Metafora del "CEO".....22

2. Componenti Chiave delle Funzioni Esecutive.....23

3. La Gerarchia dell'Azione nel Lobo Frontale.....23

4. Il Legame con Memoria di Lavoro e Attenzione.....24

5. Evidenze Cliniche e Sindromi.....25

Pianificazione.....25

1. La "Memoria del Futuro" e la Proattività.....26

2. Il Processo di Problem Solving e lo "Spazio del Problema".....26

3. Strutture Neurali Chiave.....27

4. Il Fallimento della Pianificazione: Evidenze Cliniche…28

Linguaggio: Area di Broca.....28

1. La "Corteccia Premotoria" del Linguaggio.....29

2. Unificazione e Pianificazione Cognitiva.....29

3. Legame tra Azione e Intenzione: I Neuroni Specchio..30
4. Il Sistema di "Output" e le Afasie.....30
Corteccia posteriore: PERCEZIONE.....33
Visione.....33
1. Organizzazione Anatomica e Divisione Input-Output.33
2. Elaborazione Gerarchica e Aree di Proiezione.....34
3. I Due Flussi della Percezione: "What" e "Where".....34
4. Integrazione Multisensoriale e Memoria Percettiva.....35
5. Ruolo nella Coscienza e nell'Attenzione.....36
Udito.....37
1. Localizzazione e Anatomia.....37
2. Organizzazione Funzionale.....37
3. Elaborazione Gerarchica e Flussi "What" e "Where"...38
4. Risoluzione Temporale e Coscienza.....39
Somatosensiorale.....40
1. Localizzazione e Anatomia.....40
2. Accoppiamento Sensorimotorio.....41

3. Plasticità Neurale e Riorganizzazione.....42
4. Integrazione nel "Where Stream" (Via Dorsale).....42
Strutture sottocorticali.....44
Talamo.....44
1. Il Talamo come "Gateway" Sensoriale.....44
2. Il Sistema Talamo-Corticale e la Coscienza.....45
3. Ruolo nell'Attenzione e nell'Esecuzione.....46
4. Il Talamo nel Contesto Sottocorticale.....46
Ippocampo.....47
1. Anatomia e Natura Evolutiva.....48
2. Il Ruolo Centrale nella Memoria Episodica.....48
3. L'Ippocampo tra le Strutture Sottocorticali.....49
4. Consolidamento e Ritmi Cerebrali.....50
5. Evidenze Cliniche: HM e Clive Wearing.....50
Stato di veglia.....51
1. Il "Motore" della Veglia e dell'Attivazione.....51
2. L'ERTAS come "Lavagna Globale" (Blackboard).....52

3. Ruolo dei Neuromodulatori ("Spritzers").....52
4. Il Ciclo tra Lobo Frontale e Tronco Encefalico.....53
5. ARAS e Stati di Inconsci d'Origine Sottocorticale.....54
Sviluppo.....55
Fasi dello sviluppo.....55
Neurogenesi.....55
1. La Fase Prenatale: Il "Repertorio Primario".....55
2. Il Modello dell'Unità Radiale (Rakic).....56
3. Transizione alle Fasi Successive.....57
4. La Neurogenesi nell'Adulto.....58
Migrazione e Differenziazione.....58
1. La Migrazione Neurale: Due Modelli.....59
2. Il Modello dell'Unità Radiale (Rakic).....60
3. La Differenziazione: Acquisire Identità e Funzione.....60
4. Il Ruolo di Geni e Ambiente (Epigenesi).....61
Sinaptogenesi.....62
1. Il "Secondo Repertorio" di Edelman.....62

2. Cronologia e Differenze Regionali.....63
3. Selezione ed Esperienza (Apprendimento Hebbiano)..63
4. La Fase Regressiva: Il Pruning (Potatura).....64
5. Posizionamento nel Ciclo di Sviluppo.....64
Pruning (Potatura).....65
1. Il Ciclo "Rise and Fall" (Ascesa e Caduta).....65
2. Meccanismo: Darwinismo Neurale e Regola di Hebb..66
3. Differenze Regionali e Cronologia.....66
4. Pruning, Plasticità e Patologia.....67
Interazione geni ambiente.....68
1. Epigenesi Probabilistica e Bidirezionalità.....68
2. Sviluppo Prenatale e Vulnerabilità Ambientale.....69
3. Darwinismo Neurale e Selezione Esperienziale.....69
4. Meccanismi Molecolari della Plasticità.....70
5. Plasticità nel Ciclo di Vita.....70
Adolescenza.....72
1. La Maturazione Tardiva dei Lobi Frontali.....72

2. Sviluppo delle Funzioni Esecutive e Sociali.....73
3. "Juvenilization" ed Evoluzione.....74
4. Implicazioni Legali e Sociali.....74
5. Cambiamenti nelle Strutture Sottocorticali.....74
Memoria ed Apprendimento.....76
Memoria di lavoro.....76
Centrale di esecuzione.....76
1. La metafora del "CEO" e il controllo volontario.....76
2. Basi Neuroanatomiche: La Corteccia Prefrontale.....77
3. Funzioni chiave nel contesto della Memoria di Lavoro 78
4. Prove Sperimentali e Carico Cognitivo.....79
Taccuino Visuo-Spaziale.....79
1. Funzioni principali.....80
2. Basi Neuroanatomiche.....81
3. Evidenze Sperimentali e Dissociazioni.....81
4. Relazione con l'Esecutivo Centrale e la Memoria a Lungo Termine.....82

Loop-Fonologico.....82
1. Definizione e Meccanismo: Il Linguaggio Interno.....83
2. Capacità Limitata e "Il Numero Magico".....83
3. Basi Neuroanatomiche.....84
4. Prove Sperimentali e Dissociazioni.....85
5. Ruolo nei Processi Cognitivi Complessi.....85
Memoria a lungo termine.....87
Episodica (eventi).....87
1. La Memoria Episodica come Cognizione Esplicita.....87
2. Caratteristiche distintive degli Eventi Episodici.....88
3. Basi Neuroanatomiche e il Ruolo del Lobo Temporale Mediale (MTL).....89
4. Evidenze Cliniche: La Dissociazione tra Esplicito e Implicito.....89
5. Il ruolo dell'Attenzione e del Consolidamento.....90
Semantica (Fatti).....91
1. La Natura Cosciente della Conoscenza Semantica.....91
2. Basi Neuroanatomiche e Reti Distribuite.....92

3. Relazione tra Episodico e Semantico.....93

4. Evidenze Cliniche e Dissociazioni.....93

5. Funzione Cognitiva: Il "Chunking".....94

Abitudini.....94

1. Definizione e Meccanismo: L'Automaticità.....95

2. Basi Neuroanatomiche: Il Ruolo delle Strutture Sottocorticali.....96

3. Apprendimento Implicito e Input Cosciente.....96

4. Prove Cliniche: La Dissociazione tra Esplicito e Implicito.....97

Priming.....98

1. Tipologie di Priming e Basi Neurali.....98

2. Il Fenomeno della Riduzione dell'Attivazione.....99

3. Dissociazione Clinica: Il Caso degli Amnesici.....99

4. Priming nel Quadro Funzionale della Mente.....100

Lobo temporale mediale.....101

1. Il "Gateway" della Memoria Episodica.....101

2. Consolidamento e Trasferimento alla Neocorteccia…102

3. Specializzazione Funzionale all'interno dell'MTL.....102
4. Evidenze dai Casi Clinici: HM e Clive Wearing.....103
5. Interazione con Emozioni ed Esecutivo Centrale.....103
Ippocampo e Corteccia.....105
Attenzione e Coscienza.....108
Sistemi attentivi.....108
Cattura sensoriale.....108
1. Definizione e Fattori Scatenanti.....108
2. Il Sistema Duale: Bottom-up vs. Top-down.....109
3. Basi Neuroanatomiche e Meccanismi.....110
4. Relazione con la Coscienza.....111
Volontaria.....112
1. Il ruolo della Centrale di Esecuzione.....112
2. Basi Neuroanatomiche e il Modello di Posner.....113
3. Meccanismi di Elaborazione: Aspettativa e Feedback.113
4. Relazione con la Coscienza e l'Apprendimento.....114
5. Il Continuo tra Volontario e Automatico.....115

Selezione precoce e tardiva.....115

1. Selezione Precoce: Il Filtro Basato sulle Caratteristiche Fisiche.....116

2. Selezione Tardiva: L'Analisi del Significato.....117

3. La Risoluzione delle Neuroscienze: Un Sistema Flessibile.....117

4. Il Contesto dei Sistemi Attentivi e della Memoria di Lavoro.....118

Stati di coscienza.....119

Veglia.....119

1. Il Nucleo Talamocorticale e la Dinamica Esecutiva....119

2. Caratteristiche dell'EEG e Elaborazione dell'Informazione.....120

3. Sincronia Locale vs. Ipersincronia Globale.....121

4. Il Ruolo dei Neuromodulatori.....121

5. Funzioni Cognitive della Veglia.....122

Sonno.....123

1. Il Sonno SWS (Sonno Profondo): Ipereccitabilità e Silenzio.....123

2. Il Sonno REM (Sogno): Il Secondo Stato Cosciente. .124

3. Sintesi e Confronto nel Quadro della Coscienza.....125

Oscillazioni Theta e Alpha.....126

1. Oscillazioni Alpha (8–12 Hz): Rilassamento e Soppressione.....127

2. Oscillazioni Theta (4–7 Hz): Memoria e Dialogo Ippocampale.....128

3. Il Fenomeno del Multiplexing e la Coscienza.....128

4. Theta e Alpha negli Stati Alterati e nel Sonno.....129

Integrazioni delle informazioni.....131

1. La Teoria dell'Informazione Integrata (IIT).....131

2. Il "Binding Problem" e la Sincronia Gamma.....132

3. Global Workspace Theory (GWT) e il "Broadcasting" 132

4. Il Ruolo dell'Attenzione come Selettore.....133

5. Basi Anatomiche dell'Integrazione.....134

Conclusione.....135